

Optimalizace přenosu environmentálních dat pomocí komprese

Optimization of Environmental Data Transmission using Compression

Mark Minařík

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Konečný, Ph.D.

Ostrava, 2020

Abstrakt

Tématem této práce je optimalizace přenosu dat pomocí ztrátových a bezztrátových kompresí. V práci jsou realizované experimenty, ve kterých se aplikují různé kompresní metody na meteorologická data. Na základě výsledků těchto experimentů, se v práci porovnávají a zhodnocují použité komprese.

Klíčová slova

Komprese, MATLAB

Abstract

The topic of this work is the optimization of data transfer using lossy and lossless compressions. Experiments are realized in the work, in which various compressions methods are applied for meteorological data. Based on the results of these experiments, the used compressions are compared and evaluated.

Keywords

Compression, MATLAB

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mi s prací pomohli, protože bez nich by tato práce nevznikla.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	6
1 Úvod	7
2 IoT zařízení pro monitorování životního prostředí	8
2.1 Bezdrátový IoT snímač W7810	10
2.2 SECTRON meteorologická stanice s WiFi / LAN převodníkem	10
3 Komunikační standardy LPWAN	12
3.1 LoRaWAN	13
3.2 SIGFOX	13
3.3 NB-IoT	14
4 Kompresní algoritmy	15
4.1 Ztrátové	15
4.2 Bezztrátové	17
5 MATLAB	18
6 Realizace experimentů optimalizace přenosu pomocí kompresí	20
6.1 Vyčítání dat	20
6.2 Ztrátové komprese	22
6.3 Bezztrátové komprese	27
7 Hodnocení provedených experimentů	38
7.1 Kvantum přenesené informace	38
7.2 Ztráta informace	38
7.3 Výpočetní náročnost	46
8 Závěr	49

Literatura	50
Přílohy	51
A Příloha v IS EDISON	52

Seznam použitých zkratek a symbolů

DCT	– Discrete cosine transform
RLE	– Run-length encoding
IoT	– Internet of Things
LPWAN	– low-power wide-area network
NB-IoT	– Narrowband IoT
CRA	– České Radiokomunikace
DWT	– Discrete wavelet transform

Kapitola 1

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na metody používané při kompresi dat.

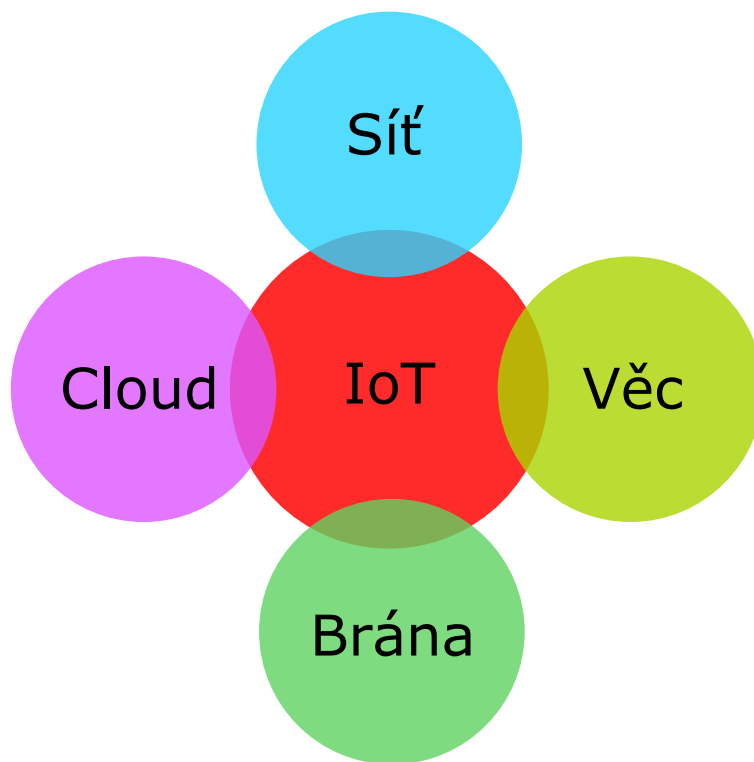
Teoretická část práce se zabývá způsoby monitorování životního prostředí pomocí IoT zařízení. Dále jsou zde uvedeny komunikační standardy LPWAN, které lze využít pro přenos naměřených meteorologických dat. V poslední část teoretického rozboru je zaměřena na kompresní algoritmy a jsou zde uvedeny ztrátové a bezztrátové způsoby kompresí dat.

Praktická část je zaměřená na experimenty s kompresními algoritmy. Realizace je provedena v interaktivním vývojovém prostředí MATLAB. Experimenty se provádějí na reálných meteorologických datech. Je zde popsán způsob vyčtení naměřených dat ze souboru a následná komprese těchto dat. Část popisující kompresi dat se dělí části zabývající se ztrátovou kompresí a bezztrátovou kompresí.

V závěru praktické části se zhodnocují jednotlivé kompresní algoritmy na základě kvanta přenesené informace, ztráty informace a výpočetní náročnosti.

Kapitola 2

IoT zařízení pro monitorování životního prostředí



Obrázek 2.1: Základní bloky IoT [1]

IoT je ekosystém zařízení, která jsou připojená k síti. Díky IoT se hloupá zařízení mohou stát zařízení chytrá. IoT lze využít jak v domácnosti, kdy zlepšují kvalitu života, tak i v průmyslu, kde například pomáhají optimalizovat výrobu. Může se jednat o chytré hodinky sledující zdravotní stav,

chytrou lednici, která si hlídá stav potravin, a nebo například chytrý dům, který podle stavu ovzduší dokáže sám zapínat klimatizaci a otvírat okna. [2, 3]

Základní bloky IoT (Obrázek 2.1):

- Věc - zařízení připojené do sítě, které chci řídit, nebo slouží k monitorování.
- Brána - prostředek umožňující připojení zařízení a cloudu.
- Síť - souhrn zařízení, která zajišťují přenos dat (routery, opakovače, brány, huby).
- Cloud - servery umožňující ukládat přenesená data.

Po síti se přenáší tzv. „malá data“, která se ukládají do cloudu. Jakmile množství uložených dat naroste, jedná se o tzv. „velká data“. Zpracování velkých dat umožňuje například predikci, která umožní zefektivnit řízení.



Obrázek 2.2: Bezdrátový IoT snímač W7810 [4]

2.1 Bezdrátový IoT snímač W7810

Tento bezdrátový snímač (obrázek 2.2) slouží k měření enviromentálních veličin, vyznačuje se malou velikostí a pracuje v síti SIGFOX. Mezi měřené veličiny patří teplota, relativní vlhkost, rosný bod a atmosférický tlak. Parametry snímače jsou v tabulce 2.1. [4]

Naměřená data se neodesílají okamžitě, ale odesílají se v nastavitelném časovém intervalu. Tento časový interval lze nastavit v rozmezí 10 minut až 24 hodin. Odesílají se sítí SIGFOX do uložiště COMET Cloud. Do tohoto uložiště může uživatel přistupovat přes internetový prohlížeč a data jsou zobrazena ve formě tabulek a grafů. Služba COMET Cloud je placená formou předplatného. Bezdrátový dosah je 50 km na volném prostranství a 3 km v zástavbě. V případě baterie o kapacitě 2200 mAh a odesílání dat každých deset minut je výdrž snímače 4 měsíce. Při odesílání dat jednou denně se výdrž zvýší až na sedm let. Snímači lze nastavit sledování dvou nastavených hraničních hodnot měřené veličiny. V případě překročení hraniční hodnoty se uživateli odešle email pomocí služby COMET Cloud. [4]

Tabulka 2.1: Parametry IoT snímače W7810 [4]

Parametry	
Měřicí rozsahy:	
Teplota	-30 až 60 °C
Vlhkost	0 až 100 % RV
Atmosférický tlak	600 až 1100 hPa
Rosný bod	-60 až 60 °C
Provozní teplota	24 -30 až 60 °C
Pracovní frekvence	868 MHz
Maximální vysílací výkon	25 mW
Rozměry	126 × 89 × 40 mm

2.2 SECTRON meteorologická stanice s WiFi / LAN převodníkem

Meteorologická stanice SECTRON se skládá z měřicí části (obrázek 2.3), dotykového displeje a převodníku. Měřicí část měří několik enviromentálních veličin (tabulka 2.2). Na dotykovém displeji se zobrazují hodnoty měřených veličin, graf vývoje tlaku, rosný bod a animovaná předpověď počasí. [5]

Data se shromažďují ve WiFi převodníku pomocí USB rozhraní. Zpravovaná data se pomocí MQTT protokolu a NB-IoT sítě odesílají do uložiště SECTRON Cloud. Zde se odeslaná data shromažďují a dochází zde k jejich zpracování a vizualizaci. Data lze zobrazit v textové, i grafické podobě. V případě výpadku sítě je možnost uložená data odeslat zpětně na cloud. Stanice má také funkci

Tabulka 2.2: Parametry meteorologická stanice SECTRON [5]

Parametry	
Měřicí rozsahy:	
Vnější teplota	-40 až 65 °C
Vnitřní teplota	-0 až 50 °C
Vnější i vnitřní relativní vlhkost	1 až 99 %
Vnější i vnitřní vlhkost	20 až 95 %
Barometrický tlak	920 až 1080 hPa
Rychlost větru	0 až 50 m/s
Množství srážek	0 až 9999 mm
Rozměry meteostanice	171 × 123 × 50 mm

alarmu a v případě překročení nastavené mezní hodnoty teploty dojde pomocí služby SECTRON SMS BRÁNA k odeslání SMS na všechny předem nastavená telefonní čísla. [5]

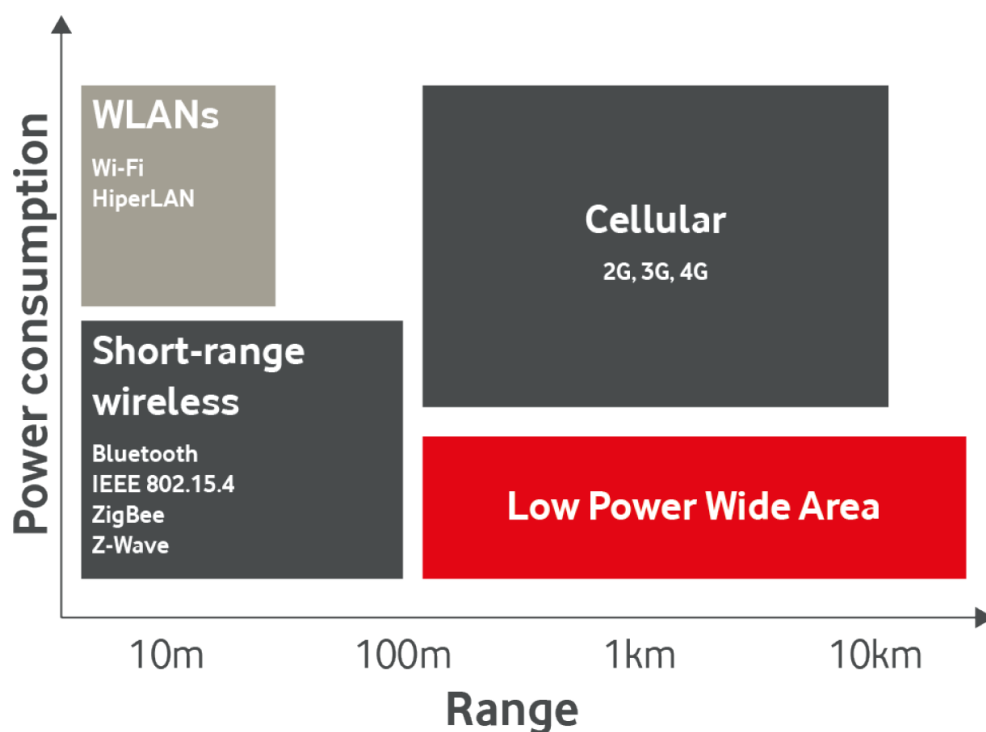


Obrázek 2.3: Meteorologická stanice SECTRON [5]

Kapitola 3

Komunikační standardy LPWAN

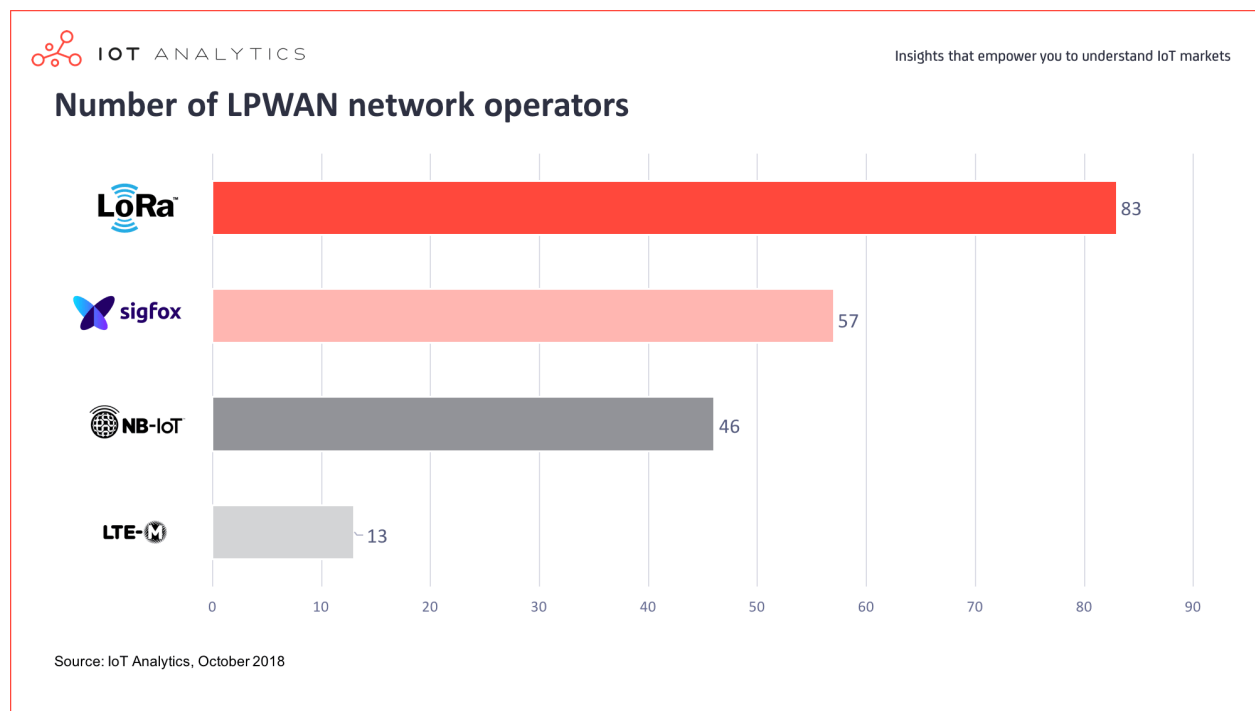
Jedná se o bezdrátové technologie s velkým dosahem a malou energetickou náročností. Na obrázku 3.1 je srovnání technologie LPWAN a jiných bezdrátových technologií z hlediska dosahu a energetické náročnosti. Uplatňují se v IoT ve formě vestavěných karet, modemů, routerů, či ve formě integrovaných obvodů, mikročipů a vestavěných karet. [3]



Obrázek 3.1: Srovnání bezdrátových technologií [6]

Standardy LPWAN se používají pro přenos menšího objemu dat (desítky až tisíce kilobajtů za měsíc) a pracují v nižších frekvencích (800–900 MHz). Nižší frekvencí je dosaženo zvýšení dosahu a

snížení spotřeby. Mezi 3 významné LPWAN standardy patří LoRaWAN, Sigfox a NB-IoT. Tabulka 3.1 obsahuje srovnání sítí LoRaWAN a Sigfox.



Obrázek 3.2: Počty operátorů jednotlivých LPWAN sítí [7]

3.1 LoRaWAN

Jedná se o technologii s otevřenou architekturou. LoRaWAN síť v Česku provozuje CRA a je určená pro IoT. Díky otevřené architektuře lze zakoupit zařízení od různých výrobců. Baterie těchto zařízení, díky nízké spotřebě, může vydržet až 10 let. Přenosová rychlost zařízení se pohybuje mezi 0,3 kbit/s až 50 kbit/s a pracuje na frekvenci v nelicencovaném pásmu 868 MHz. Zařízení bez certifikace od CRA nelze do sítě připojit. Tato podmínka existuje proto, že u LoRaWAN je kladen důraz na bezpečnost. LoRaWAN umožňuje obousměrnou komunikaci a komunikace funguje i za pohybu koncového zařízení. Dosah zařízení je 20 km vzduchem a 2 až 5 km v zástavbě. [8]

3.2 SIGFOX

Globální operátor sídlí ve Francii a všechna odeslána data se odesílají na tamní servery. SIGFOX v Česku zastupuje česká společnost SimpleCell Networks. Každé zařízení obsahuje komunikační čip s unikátním ID, který umožňuje se do sítě SIGFOX připojit. Přenosová rychlost zařízení je omezená na 100 bit/s a umožňuje poslat pouze 144 zpráv denně. Výdrž baterie může 5 až 10 let.

Tabulka 3.1: Srovnání SIGFOX a LoRaWAN [9]

Sigfox	LoRaWAN
Dosah desítky kilometrů	Jednotky až desítky kilometrů
Penetrace do budov relativně dobrá	Horší než Sigfox
Velikost payloadu max. 12 byte	Desítky byte
Downlink (zpětný kanál) velmi omezený	Možný při každém vysílání (uplinku)
Potvrzování doručení velmi omezené	Každá zpráva může být potvrzená
Přímý rádiový mód mezi endpointy ne	Ano - duální transceivery, 868 nebo 433 MHz
Mobilní komunikace velmi omezená	Ano bez problémů i ve 140km/h
Open source ne	Open source ano

SIGFOX je určen hlavně k jednosměrné komunikaci, jelikož obousměrná komunikace funguje pouze na vyžádání koncového zařízení a může přijmout pouze 4 zprávy denně. Další nevýhodou je, že nefunguje komunikace při pohybu koncového zařízení. Dosah se pohybuje kolem 50 km vzduchem a 3 až 5 km v zástavbě. [8]

3.3 NB-IoT

NB-IoT v Česku provozují mobilní operátoři O2 a Vodafone. Sít NB-IoT je provozována LTE pásma, a to umožňuje větší komunikační rychlost, která dosahuje 200 kbit/s. Zařízení musí pro připojení obsahovat SIM kartu. Oproti předchozím LPWAN sítím má NB-IoT větší energetickou spotřebu. Dosah se pohybuje kolem 20 km. Tak jako LoRaWAN, tak i NB-IoT umožňuje obousměrný tok dat. [8]

Kapitola 4

Kompresní algoritmy

Komprese slouží ke snižování objemu dat. Důvody pro zmenšení velikosti objemu dat jsou snížení nároků na uložení a usnadnění jejich přenosu. Rozdělují se na komprese ztrátové a bezztrátové. Navzájem se liší výpočetní náročností, velikostí dat po kompresi, a ztrátou informace z původního signálu.

4.1 Ztrátové

Jedná se o kompresi kdy rekonstruována data jsou pouze aproximací originálu. Ztráta informace vzniklá při kompresi je nevratná. Kvůli nedokonalosti lidských smyslů se ztrátové kompresní algoritmy využívají při zpracování obrázků, videa a hudby. [10]

4.1.1 DCT

Jedná se o ztrátový kompresní algoritmus. Lze jej použít jako pro jednorozměrná, tak i vícerozměrná data. Díky tomu, že se může být použit i pro vícerozměrná data se hodí pro zpracování obrazu, kdy jsou data dvourozměrná.

Jedná se o transformaci příbuznou Fourierově transformaci. Tato komprese je využita při převodu obrázku do formátu JPEG. Při kompresi se data (například obraz) převádí do frekvenční oblasti. Energie původního signálu je soustředěná do několika málo reálných koeficientů. Zanedbáním některých koeficientů ke možné snížit počet hodnot po kompresi za cenu ztráty informace.

Při přenosu hodnot je kvůli rekonstrukci signálu také potřeba přenést hodnotu množství hodnot před kompresí. Rekonstrukce signálu se provádí inverzní kosinovou transformací.[11],[12]

Standartní varianty DCT. Pro signál x délky N a Kroneckerovo delta δ_{kl} : [13]

$$\text{DCT1: } y(k) = \sqrt{\frac{2}{N-1}} \sum_{n=1}^N x(n) \frac{1}{\sqrt{1+\delta_{n1}+\delta_{nN}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\delta_{k1}+\delta_{kN}}} \cos\left(\frac{\pi}{N-1}(n-1)(k-1)\right) \quad (4.1)$$

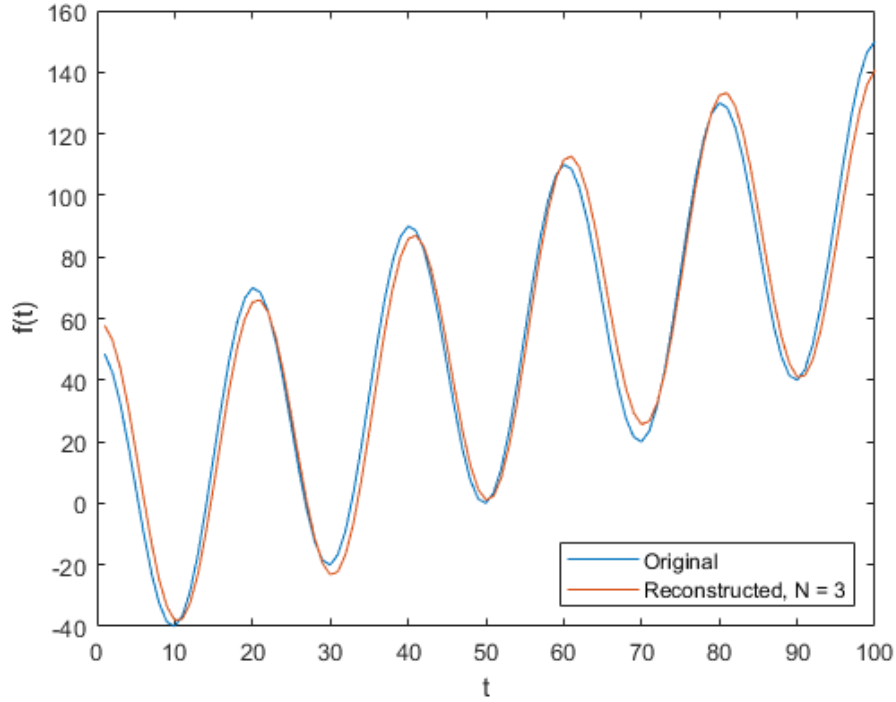
$$\text{DCT2: } y(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N x(n) \frac{1}{\sqrt{1+\delta_{k1}}} \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n-1)(k-1)\right) \quad (4.2)$$

$$\text{DCT3: } y(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N x(n) \frac{1}{\sqrt{1+\delta_{n1}}} \cos\left(\frac{\pi}{2N}(n-1)(2k-1)\right) \quad (4.3)$$

$$\text{DCT4: } y(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N x(n) \cos\left(\frac{\pi}{4N}(2n-1)(2k-1)\right) \quad (4.4)$$

4.1.2 DWT

Jedná se o diskretní vlnkovou transformaci. Je odvozená z vlnkové transformace pro diskretní vlnky (wavelety). Vypočítává se průchodem signálu řetězcem filtrů. Signál se rozdělí na přibližné a podrobné koeficienty. Zanedbáním části koeficientů lze snížit objem přenášených dat za cenu ztráty informace. Změnou waveletu při transformaci lze docílit různých kvalit komprese. [12]



Obrázek 4.1: Ukázka DCT komprese, data před kompresí a po rekonstrukci

Příklady waveletů

- Symlet.
- Haar.
- Biorthogonal.
- Meyer.
- A další.

4.2 Bezztrátové

Jedná se o kompresi kdy rekonstruována data jsou stejná jako data originální. Ztráta informace použití bezztrátové komprese nevzniká. Kvůli nedokonalosti lidských smyslů se ztrátové kompresní algoritmy využívají při zpracování obrázků, videa a hudby. [10]

4.2.1 RLE

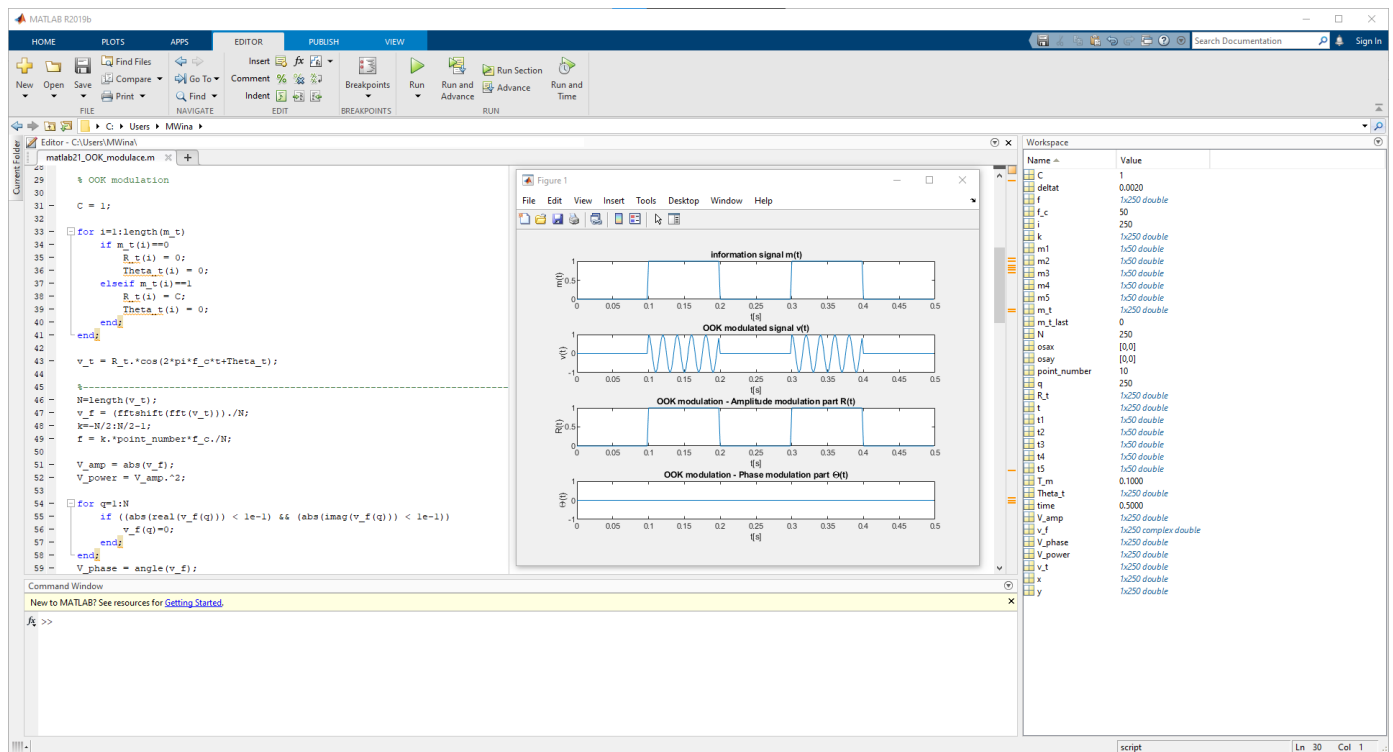
Jedná se o bezztrátový kompresní algoritmus. Lze jej použít jako pro jednorozměrná, tak po úpravě dat i pro vícerozměrná data. Díky tomu, že lze použít i pro vícerozměrná data se hodí pro zpracování obrazu, kdy jsou data dvourozměrná. Tato komprese je využita při převodu obrázku do formátu PCX. Při kompresi se postupně projíždí pole dat, a hledá se kolik prvků pole souvisle za sebou má stejnou hodnotu. Při průchodu polem se ukládá hodnota pole a počet kolikrát se v následujících buňkách pole opakuje. Proto se tato hodnota nehodí pro data, ve kterých nedochází k souvislému opakování hodnot. Zkráceně řečeno tento kompresní algoritmus zkracuje posloupnosti stejných hodnot. [14]

4.2.2 ZLIB

ZLIB komprese se využívá převážně u png obrázku. Jedná se o Open source multiplatformní knihovnu. Většina HTTP serveru používá zlib při kompresi jejich dat. Algoritmus neobsahuje kontrolní součet. Komprese používá algoritmus Deflate. [15]

Kapitola 5

MATLAB



Obrázek 5.1: Ukázka vývojového prostředí MATLAB

Jedná se o nástroj, který je určený pro vědecké a technické výpočty. Používá se při tvorbě algoritmů (skriptů) určených například k analýze a vizualizaci dat. Nachází uplatnění v úlohách strojového učení, zpracování signálu a obrazu, finanční analýzy a dalších. Ve velké míře se používá při modelování a návrhu řídicích systémů. Dále MATLAB obsahuje nadstavbu Simulink. Simulink je grafický editor, který slouží k modelování dynamických systémů a jejich simulaci. [16]

Na obrázku 5.1 je ukázka vývojového prostředí MATLAB. V této ukázce lze vidět zápis skriptu a zobrazení vyčtených hodnot do grafu.

Co MATLAB obsahuje: [16]

- Interaktivní vývojové prostředí.
- Programovací jazyk pro výpočty a psaní algoritmů.
- Funkce pro matematické, technické, statistické a další výpočty.
- Nástroje pro modelování, simulaci, a analýzu.
- Možnost tvorby aplikací s grafickým rozhraním.
- Funkce pro vizualizaci dat a tvorbu grafů.
- Paralelní a distribuované výpočty.
- A mnoho dalších nástrojů a funkcí.

Kapitola 6

Realizace experimentů optimalizace přenosu pomocí kompresí

Cílem experimentů je porovnání výsledků různých kompresních metod na různých datech. Výchozí data jsou získána ze dvou meteorologických stanic, Mošnov a Churáňov. V datech jsou obsažena měření několika environmentálních veličin, rychlosti větru, tlaku vzduchu, globálního záření, úhrnu srážek a teploty vzduchu. Hodnoty se vyčítaly každých deset minut. Datový soubor obsahuje měření rokem 2016 počínaje a rokem 2019 konče.

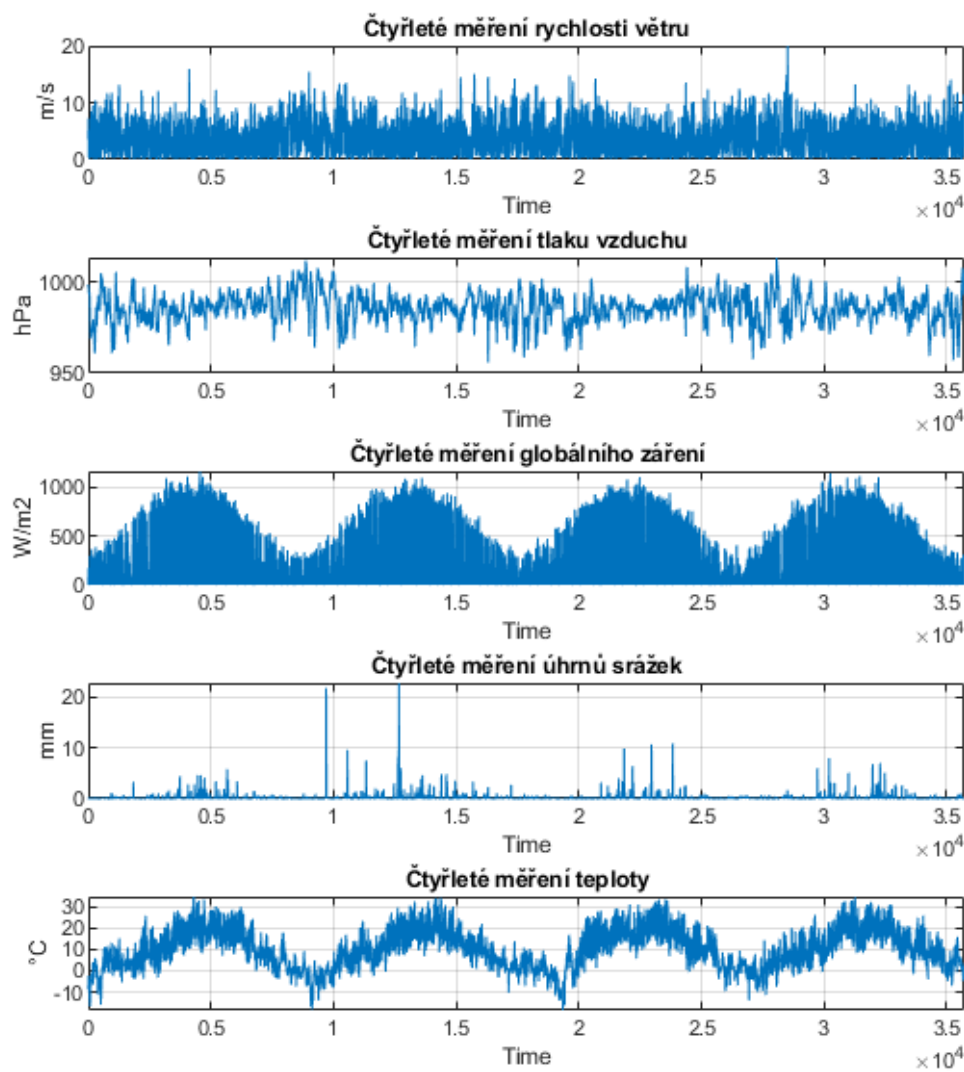
Experimenty jsou realizovány v programovém prostředí MATLAB. V tomto prostředí se data vyčítají z datového souboru a následně jsou zde na ně aplikovány různé kompresní metody. Dále jsou v tomto prostředí realizovány algoritmy pro analýzu komprimovaných dat.

6.1 Vyčítání dat

Výchozí data jsou obsažena v datovém souboru. Naměřené hodnoty jsou zapsány ve 2D tabulce, kdy jeden řádek odpovídá jednomu dni měřené veličiny. V tomto řádku jsou hodnoty zapsány s desetiminutovým krokem. Každý řádek krom naměřených hodnot, také nese informaci ze které meteorologické stanice data pocházejí, o jako veličinu se jedná a ve kterém roce, měsíci a dni byla data naměřena.

Algoritmus pro vyčítání konkrétních dat se souboru prochází všechny řádky v datovém souboru a pomocí podmínky porovnává údaj o měření obsažený na každém řádku se zadanými parametry. Mezi tyto parametry patří veličina, která se má vyčíst a časové údaje, kdy je možné vyčíst všechny hodnoty, nebo konkrétní rok, měsíc, den. V případě, že se zadané parametry shodují s údajem o měření, tak se celý řádek s naměřenými hodnotami přidá do pole s daty vyčtenými s datového souboru.

Algoritmus pro vyčítání dat je obsažen ve funkci, na jejíž vstup se zadává veličina a časové údaje určující jak velký úsek dat se má vyčíst. V případě, že údaj o dnu zůstane prázdný, vyčte se celý



Obrázek 6.1: Naměřené hodnoty ze stanice Mošnov

měsíc, pokud se do vstupu funkce zadá prázdný údaj o měsíci, tak se vyčte celý rok. Je možno zadat více měsíců a dnů. Výstupem této funkce je pole vyčtených hodnot a časový interval výstupních dat. Název této funkce je "dataFilter".

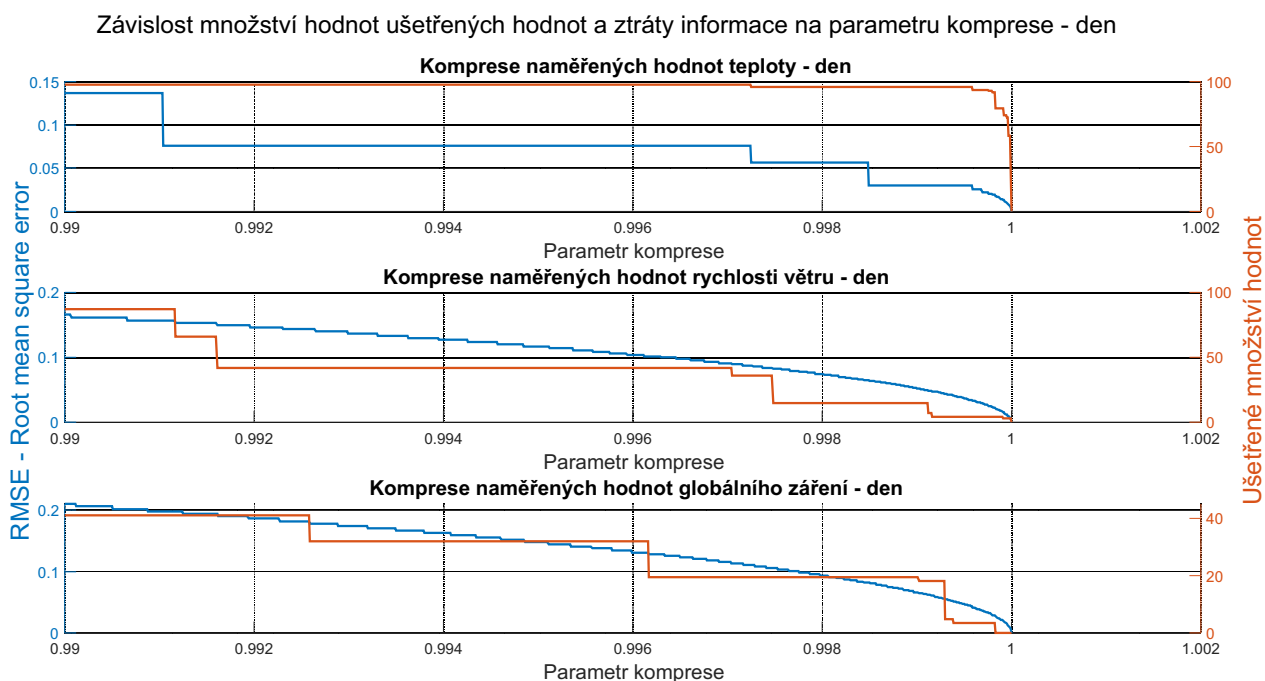
Před spuštěním této funkce je potřeba nahrát do paměti všechny hodnoty ze souboru s daty. To se provede pomocí funkce "xlsread". Výstupem této jsou tři datová pole. Z těchto tří polí se do funkce "dataFilter" přivede pole s názvem "raw".

Výstupem funkce "dataFilter" je pole hodnot zvolené veličiny a zvolené velikosti. Průběhy všech veličin za celé měřené období lze vidět na obrázku 6.1

6.2 Ztrátové komprese

Při realizaci experimentů se ztrátovými kompresemi jsou využity komprese DCT a DWT. Pro experimenty jsou vytvořeny algoritmy, které komprimují a rekonstruuji naměřená data. V těchto algoritmech se měří čas komprese, ztráta informace a množství ušetřených hodnot.

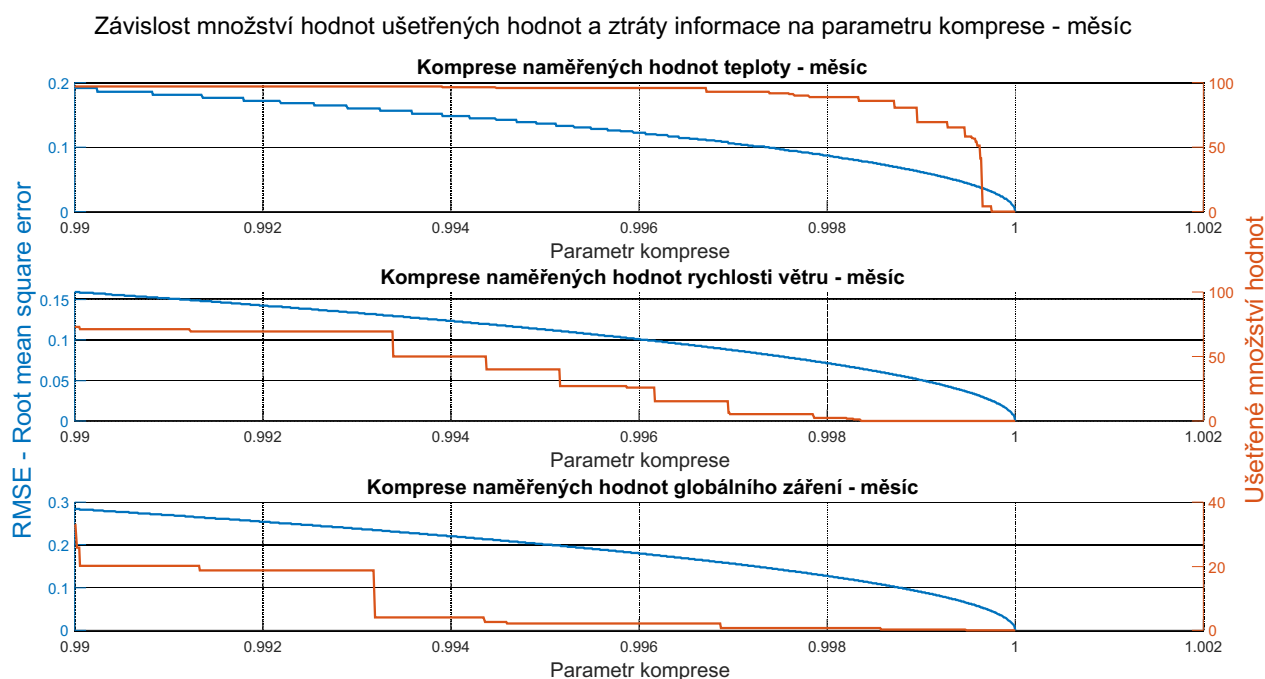
6.2.1 DCT



Obrázek 6.2: Závislost na změně parametru u DCT komprese pro hodnoty za den

Při použití algoritmu DCT dochází k poklesu množství uložených dat. Toto množství je ovlivněno veličinou na kterou je komprese aplikována. Tato metoda není vhodná pro data, která se v čase nemění.

U této metody lze měnit vstupní parametr, který ovlivňuje jaké množství hodnot zůstane po kompresi a kolik informace se při kompresi ztratí. Na obrázku 6.2 je tato závislost pro malá data a na obrázku 6.3 pro velká data. Na vodorovné ose je parametr komprese. Modrý průběh zobrazuje ztrátu informace a oranžový průběh zobrazuje procento ušetřených hodnot. Z těchto průběhů byla zvolena hodnota parametru 0.999 pro srovnávání této komprese s ostatními kompresními metodami. Oba obrázky obsahují tři grafy. V každém grafu je jiná veličina. Z grafů lze vyvodit, že se komprese



Obrázek 6.3: Závislost na změně parametru u DCT komprese pro hodnoty za měsíc

DCT nejvíce hodí na průběh teploty, a nejméně se hodí na průběh globálního záření. Na průběh tlaku tato metoda nelze aplikovat. Při aplikaci na průběh úhrnů srážek nedochází k ušetření žádných hodnot. Tyto průběhy se získají pomocí vytvořené funkce "DCT_ratio_change".

Tento vstupní parametr také mírně ovlivňuje čas vykonání komprese. Tento čas prudce narůstá při hodnotě parametru blížící se jedné (Obrázek 6.4).

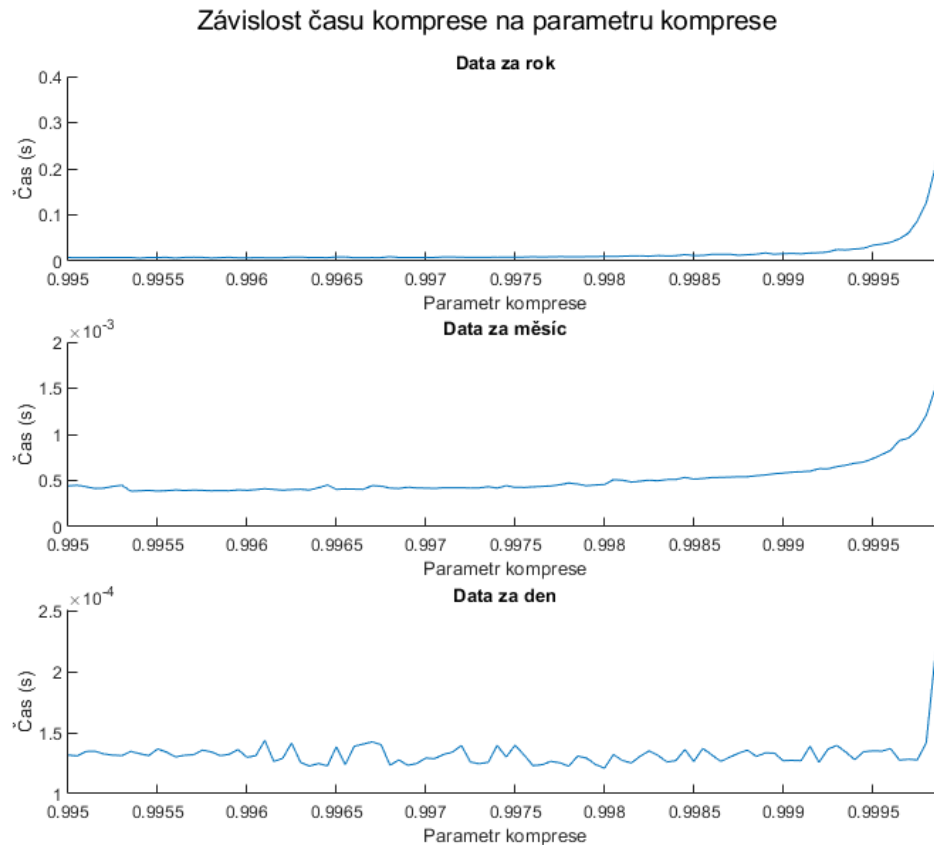
U DCT komprese dochází při hodnotě 0.995 a ke znatelné odchylce od původních dat (Obrázek 6.5). Tato odchylka je znatelnější, pokud se komprimuje větší počet hodnot (Obrázek 6.6).

V případě použití DCT komprese na nahodilá data se počet hodnot po kompresi blíží počtu hodnot původních a tudíž pro tyto data DCT algoritmus není vhodný. Je možné snížit parametr komprese za cenu ztráty informace, ale i přesto počet hodnot po komprimaci zůstává vysoký.

DCT algoritmus je vhodný použít například na průběh teplotního měření (obrázek 6.5 a 6.6), kdy po kompresi dojde ke znatelnému snížení počtu hodnot. Naopak při použití komprese na průběh rychlosti větru nechává velký počet hodnot. Tento algoritmus nelze použít na průběh atmosférického tlaku.

V případě použití většího počtu hodnot u nahodilých dat je situace stejná jako při kompresi menšího počtu hodnot.

Pro DCT kompresi byla vytvořena funkce "DCT_Compress". Na vstup této funkce se přivádí data která se mají zkomprimovat a parametr komprimace. V této funkci se transformace provádí příkazem funkcí "DCT". Z této funkce se na základě parametru komprese zanedbají některé hodnoty a tím dojde k ušetření hodnot potřebných k přenosu.



Obrázek 6.4: Závislost času na změně parametru u DCT komprese

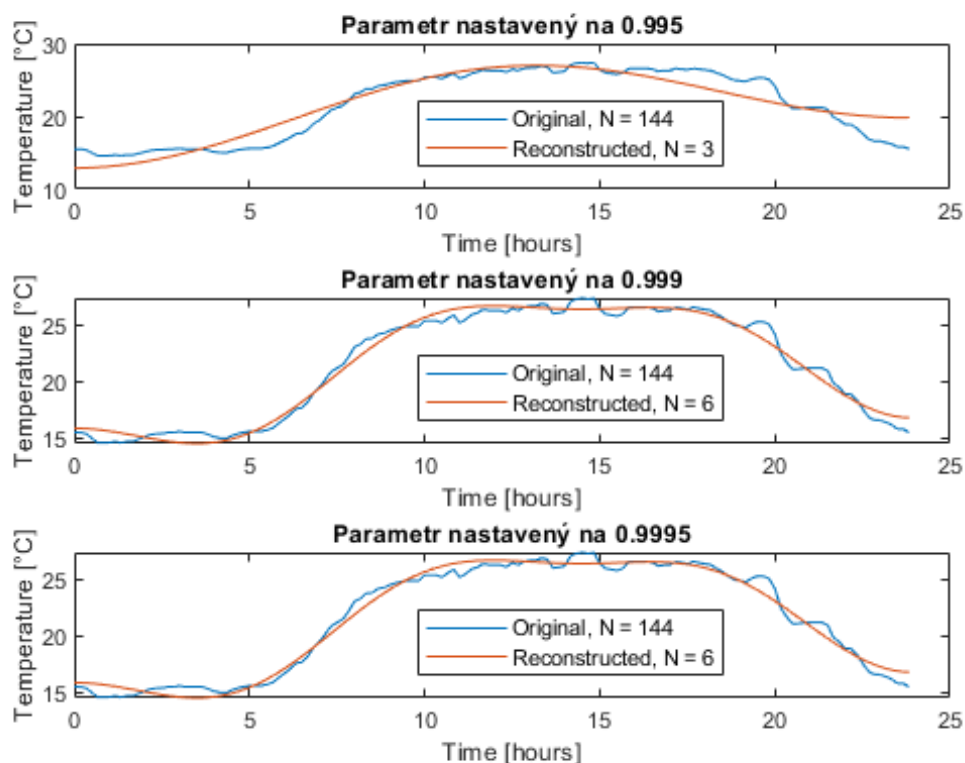
Dekomprese se provádí vytvořenou funkcí "DCT_Decompress" na jejíž vstup se přivádí komprimovaná data a velikost původních dat a jejímž výstupem jsou rekonstruovaná data. V této funkci se dekomprese provádí funkcí "idct".

DCT je k nicemu na dest

6.2.2 DWT

Při použití DWT algoritmu pro kompresi dat, si lze na vstupu toho algoritmu vybrat z několika možných typu filtrů. Změnou filtrů lze dosáhnout různé kvality komprese.

Komprese se provádí funkcí "dwt" a dekomprese se provádí funkcí "idwt". Na vstup funkce "dwt" jsou přivedena data ke kompresi a zvolený wavelet. Na vstup funkce "idwt" jsou přivedena komprimovaná data a wavelet použitý ke kompresi těchto dat. Wavelet je zvolen slovním označením a toto označení je datového typu char.



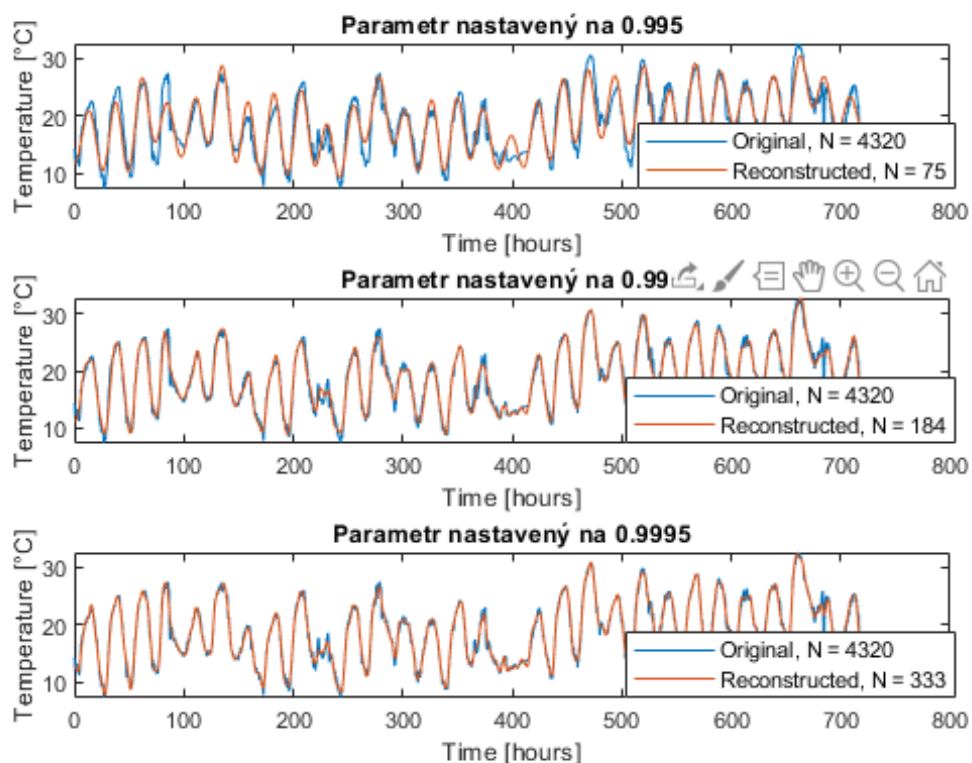
Obrázek 6.5: Původní a rekonstruovaná teplota za den po kompresi metodou DCT

6.2.3 Způsoby vyhodnocování u ztrátových kompresí

U ztrátových kompresí se vyhodnocuje doba komprese, procento ušetřených dat a ztráta informace. Na obrázku 6.12 je porovnání waveletu z hlediska ušetřených dat, na obrázku 6.13 z hlediska výpočetní náročnosti a na obrázku 6.14 z hlediska ztráty informace.

6.2.3.1 Výpočetní náročnost

Výpočetní náročnost komprese se hodnotí na základě času výpočtu komprese. Tento čas je vypočten jako medián z opakovaných měření. Tento medián je výstupem funkce "timeit" na jejíž vstup se přivede komprese, která se má změřit. Tato komprese je přivedena na vstup funkce "timeit" ve formě funkce se zvolenými parametry.



Obrázek 6.6: Původní a rekonstruovaná teplota za měsíc po kompresi metodou DCT

6.2.3.2 Procento ušetřených dat

Procento ušetřených dat se zjišťuje na základě výpočtu 6.1. Srovnává se velikost pole hodnot dat před kompresí a pole hodnot dat po kompresi.

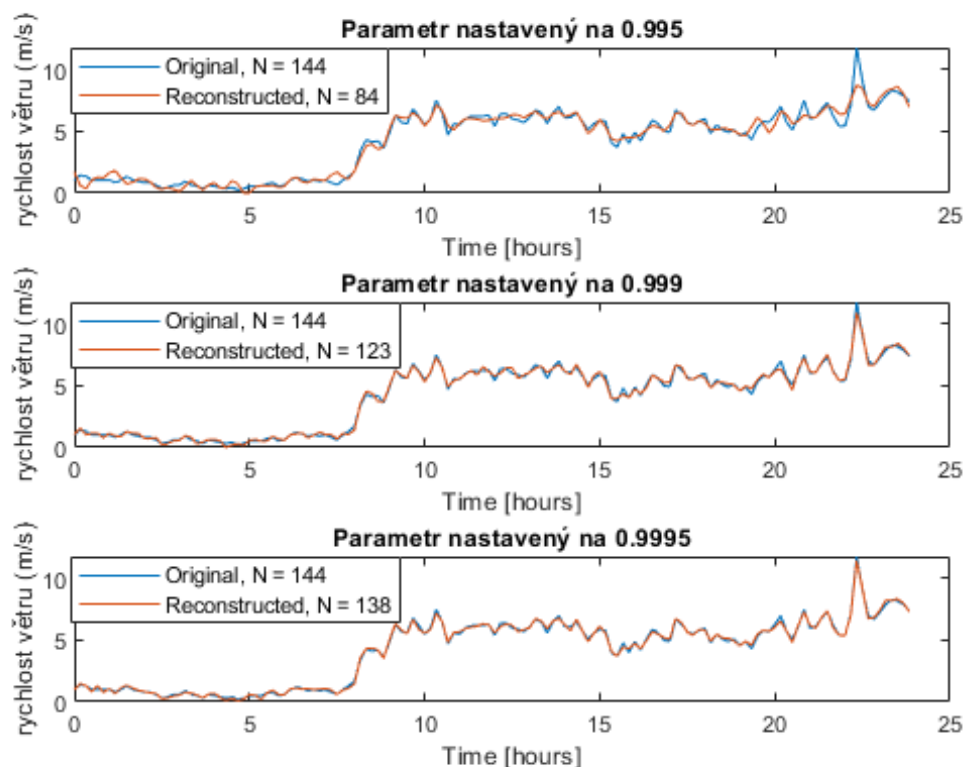
$$Ušetřená\ procenta\ dat = \frac{velikost\ před\ kompresí - velikost\ po\ kompresí}{velikost\ před\ kompresí} \cdot 100 \quad (6.1)$$

6.2.3.3 Ztráta informace

Ztráta informace se počítá pouze u ztrátových kompresí. V práci se ztráta informace měří pomocí RMSE. Podělením vypočtené hodnoty padesátí procentním kvantilem se získá hodnota RMSIQR, která je vhodnější pro porovnávání kompresí.

Na obrázku 6.15 je závislost časové náročnosti DWT algoritmu v závislosti na vstupním parametru a na množství komprimovaných dat.

Na obrázku 6.16 je závislost množství ušetřených dat pro DWT algoritmus v závislosti na vstupním parametru a na množství komprimovaných dat.



Obrázek 6.7: Původní a rekonstruovaná rychlost větru za měsíc po kompresi metodou DCT

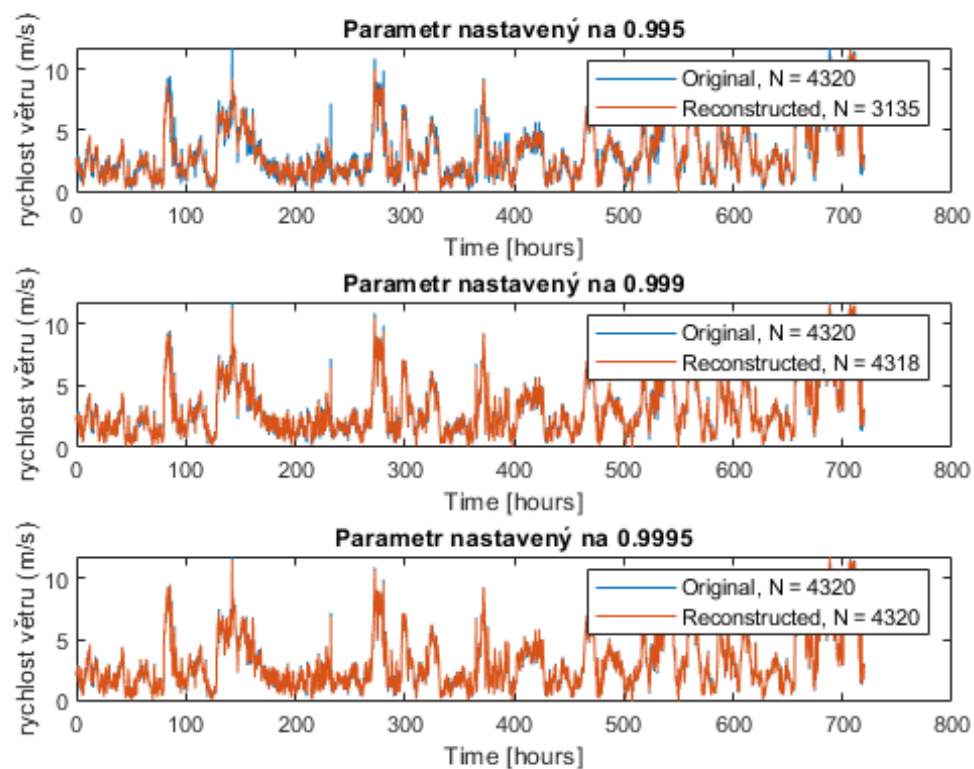
Na obrázku 6.17 jsou histogramy rozdílů hodnot naměřených za den a hodnot po rekonstrukci. Na obrázku 6.18 jsou obdobné histogramy, ale komprimovaly se hodnoty naměřené za měsíc. Tyto histogramy se liší použitím různých parametrů na vstupu DWT algoritmu.

6.3 Bezztrátové komprese

Pro experimenty byla zvolena komprese ZLIB a komprese RLE. Pro obě komprese se vyhodnocuje výpočetní náročnost komprese a množství ušetřených dat. Tyto kritéria se počítají stejně jako u ztrátových kompresí. Oproti ztrátovým kompresím se nepočítá ztráta informace, protože k žádné nedochází.

Metoda RLE se nehodí pro stále se měnící data. Naopak je velice vhodná pro data která se v čase nemění, například pro úhrn srážek. Při neustále měnících se datech může dojít po kompresi k nárůstu množství dat místo poklesu (Obrázek 6.19).

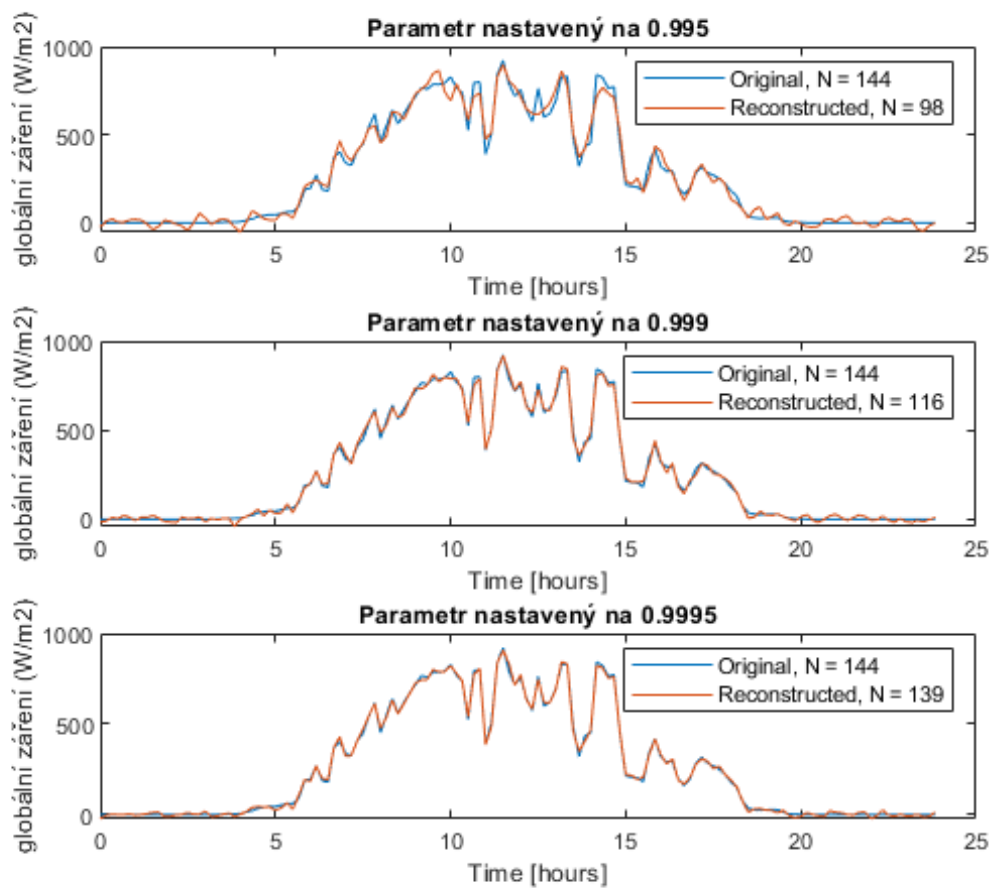
Obdobně to platí pro algoritmus ZLIB, u kterého také při použití na stále měnící se data při kompresi místo snížení počtu hodnot, dojde k jejich zvýšení.



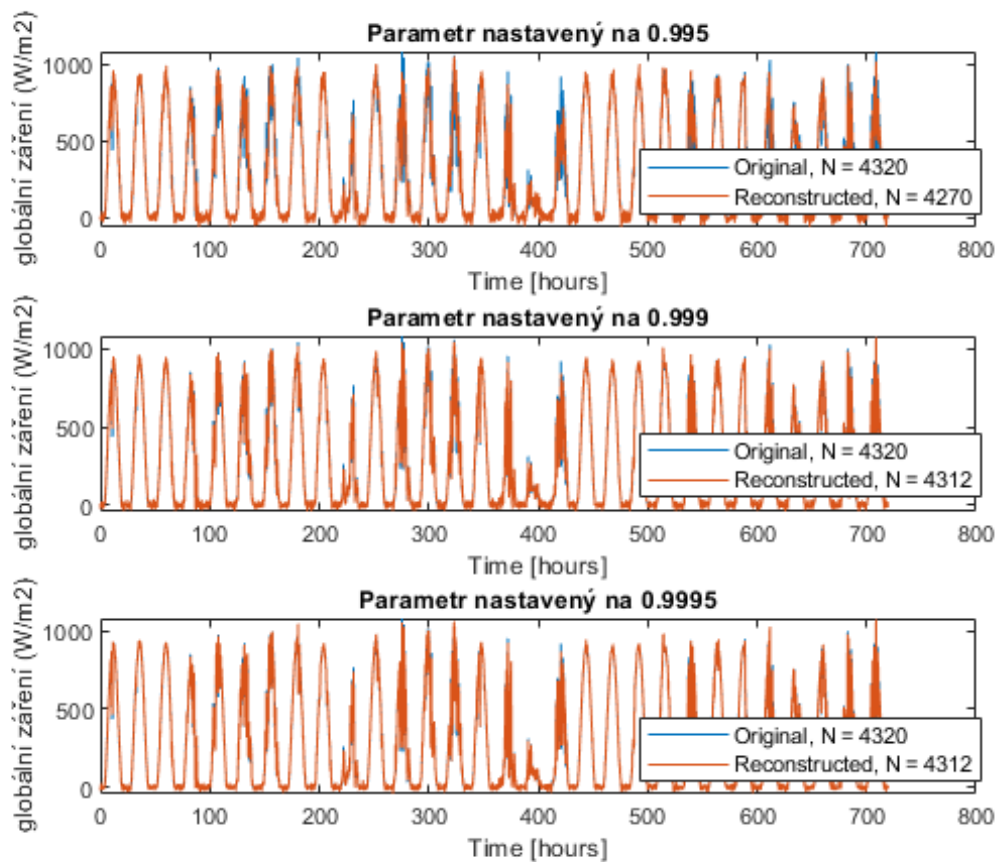
Obrázek 6.8: Původní a rekonstruovaná rychlost větru za měsíc po kompresi metodou DCT

RLE komprese se provede funkcí "RLE_Compress" a dekomprese funkcí "RLE-Decompress". Data po kompresi jsou ve formě dvou polí hodnot.

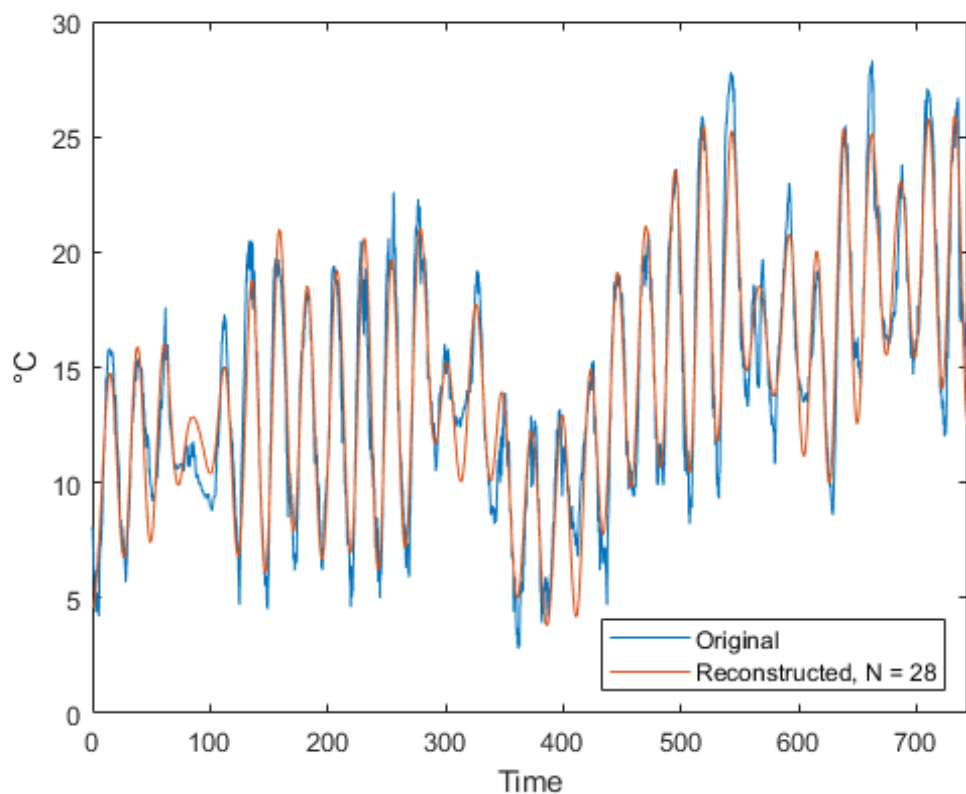
ZLIB komprese se provede funkcí "dzip" a dekomprese funkcí "dunzip". Data po kompresi jsou ve formě dvou pole datového typu uint8.



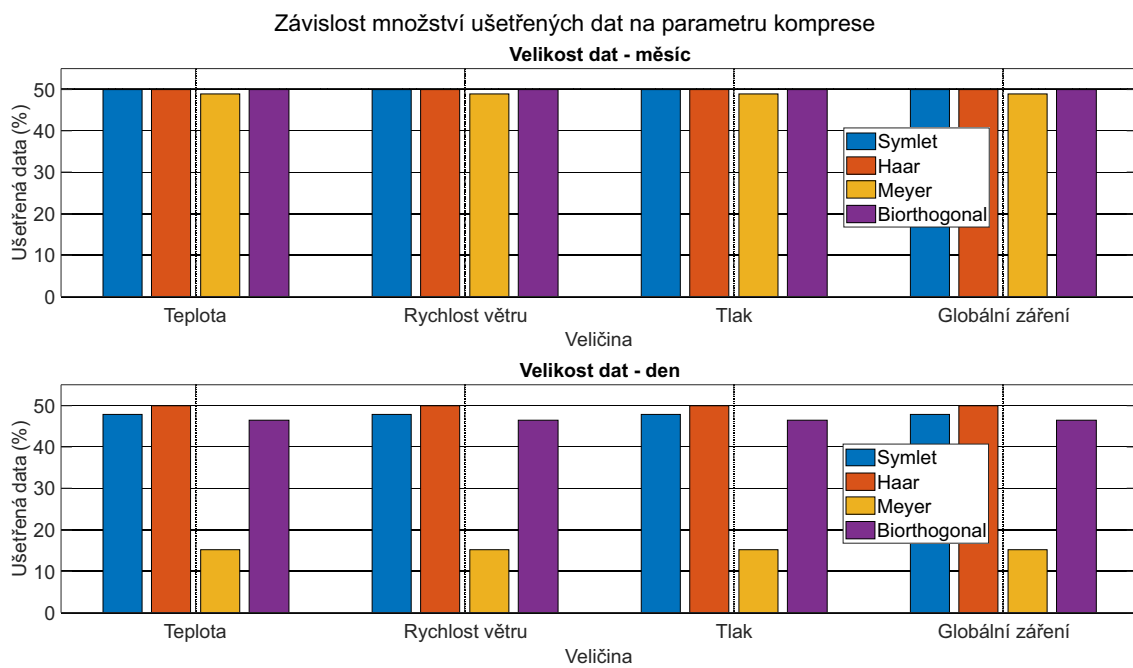
Obrázek 6.9: Původní a rekonstruovaná globálního záření za měsíc po kompresi metodou DCT



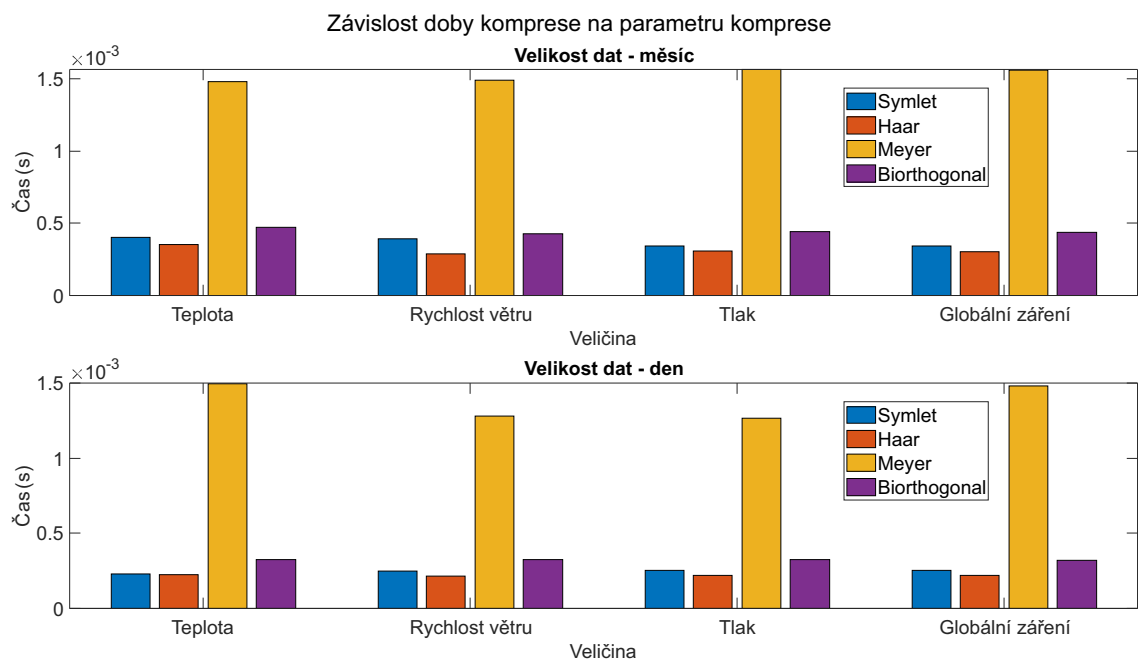
Obrázek 6.10: Původní a rekonstruovaná globálního záření za měsíc po kompresi metodou DCT



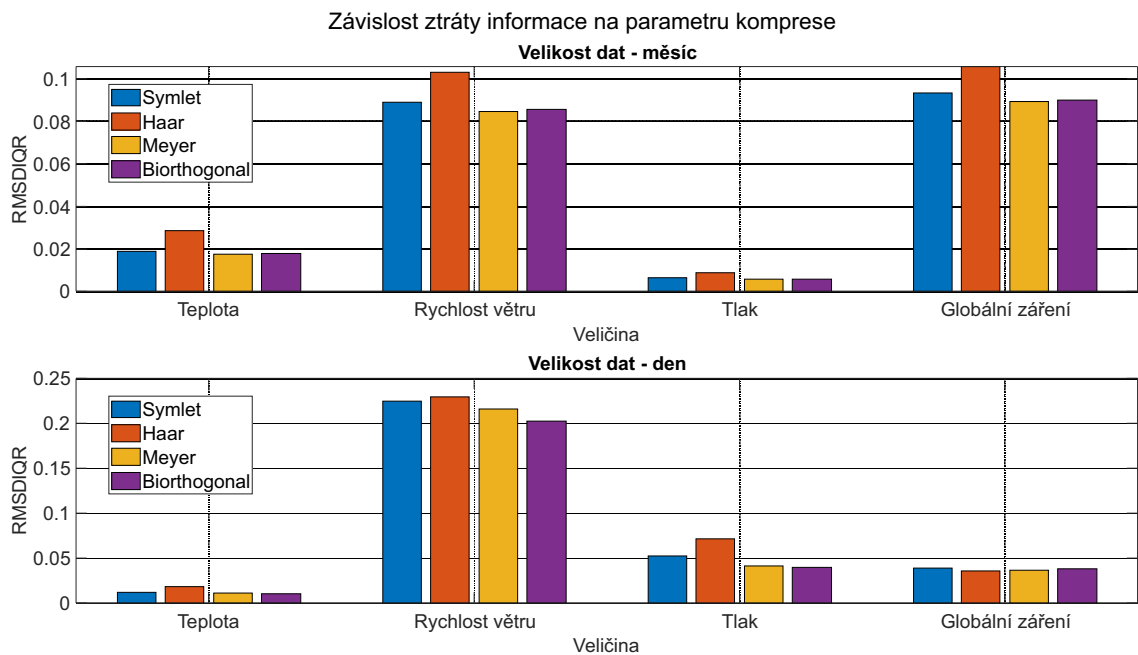
Obrázek 6.11: Původní a rekonstruovaná data po kompresi metodou DCT



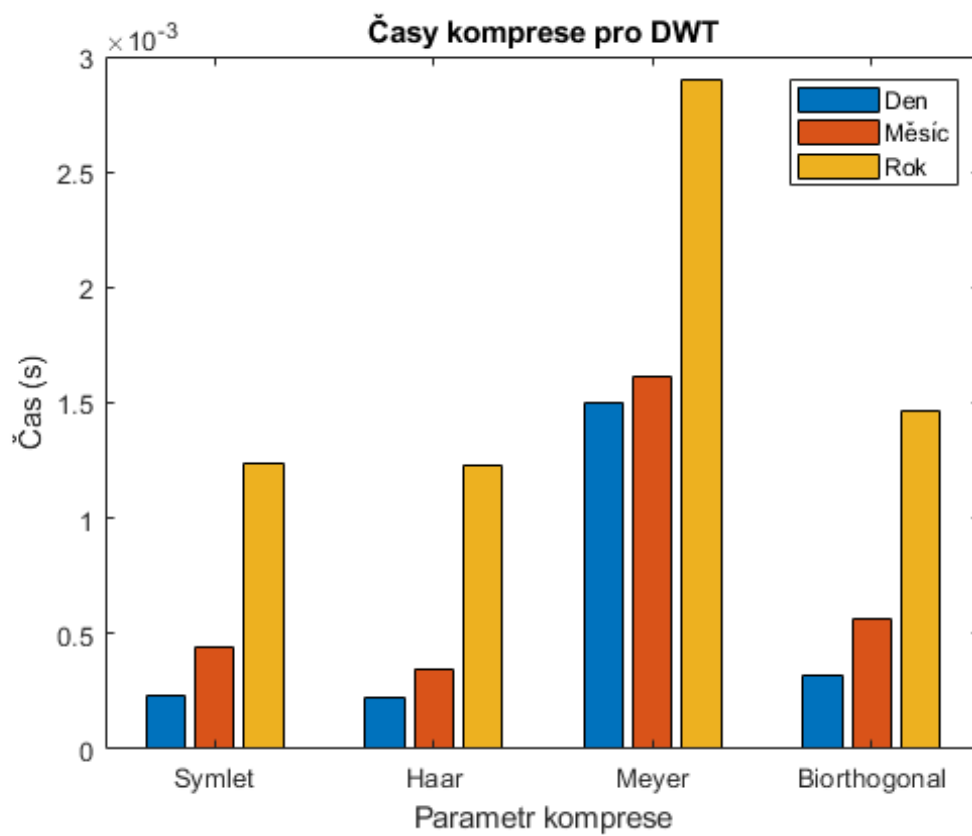
Obrázek 6.12: Rozdíly množství ušetřených dat - Kompresi DWT



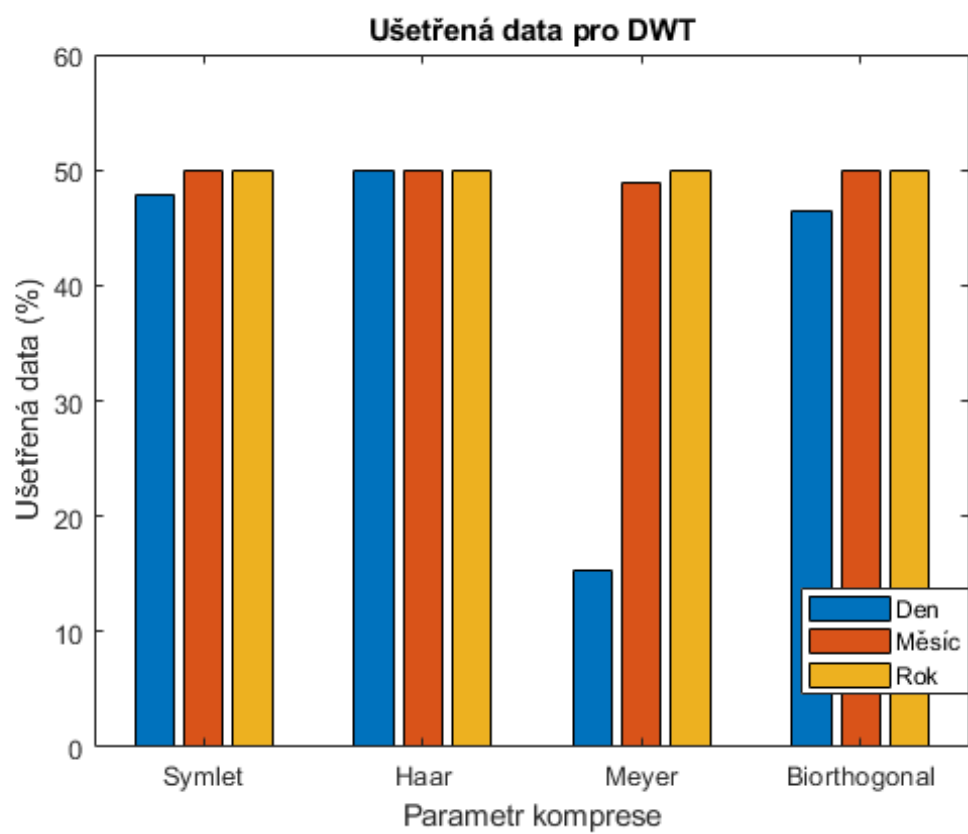
Obrázek 6.13: Rozdíly doby komprese - Komprese DWT



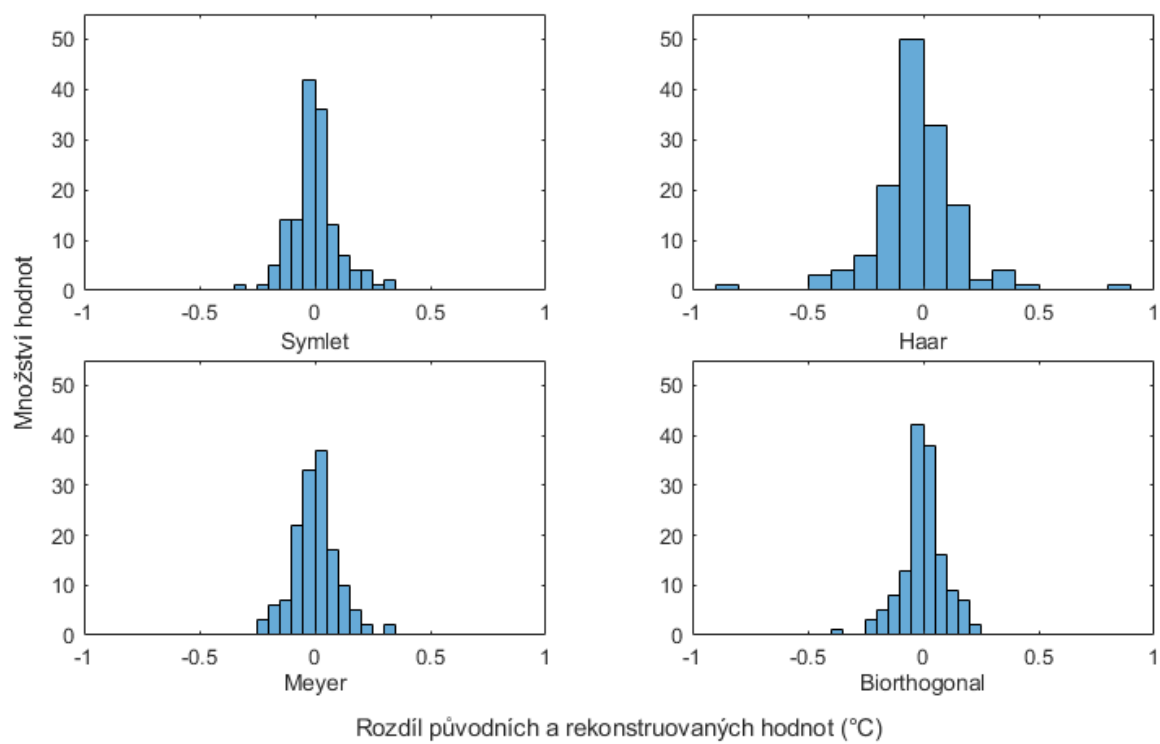
Obrázek 6.14: Rozdíly velikosti ztráty informace - Komprese DWT



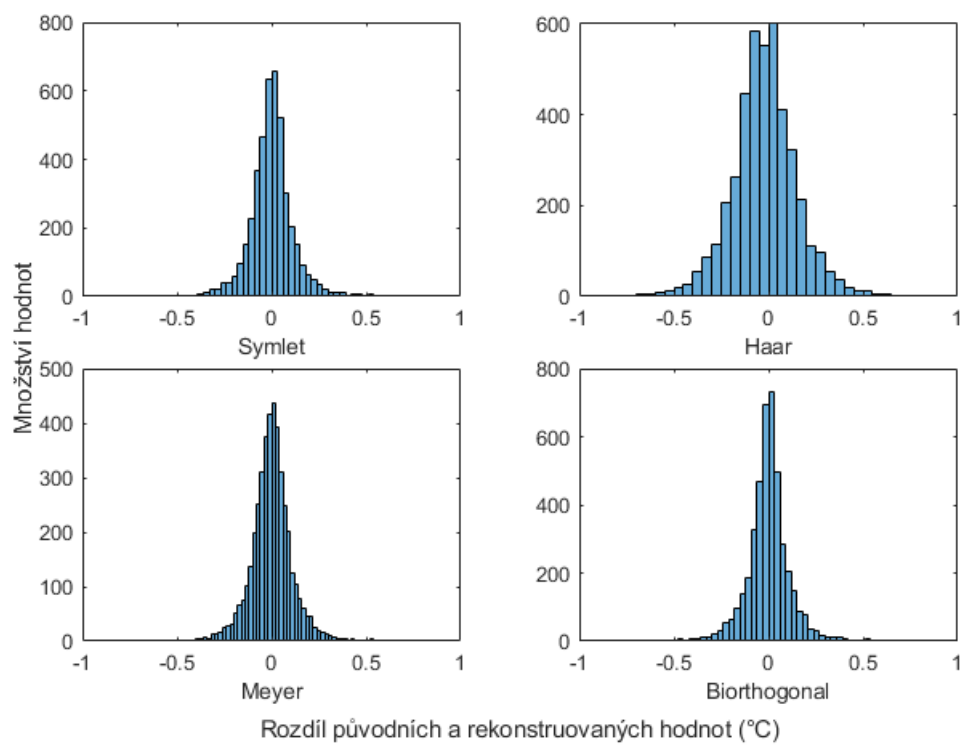
Obrázek 6.15: Doba komprese dat - Komprese DWT



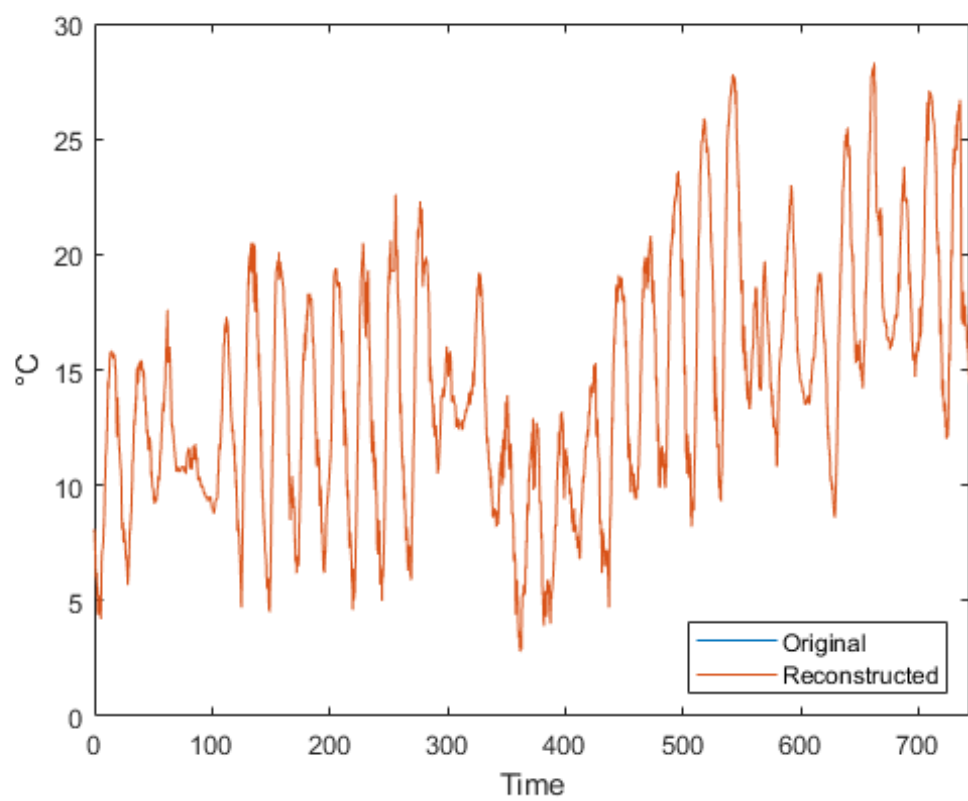
Obrázek 6.16: Množství ušetřených dat - Komprese DWT



Obrázek 6.17: Histogramy odchylek originálních teplotních dat a rekonstruovaných dat za den metodou DWT



Obrázek 6.18: Histogramy odchylek originálních teplotních dat a rekonstruovaných dat za měsíc metodou DWT



Obrázek 6.19: Původní a rekonstruovaná data po kompresi metodou RLE

Kapitola 7

Hodnocení provedených experimentů

Pro zhodnocení jednotlivých kompresních metod a chování při změně jejich parametrů a změně vstupních dat obsahuje tato kapitola množství tabulek. Jsou vytvořeny tabulky pro každou měřenou veličinu ze vstupního datového souboru, aby šlo porovnat rozdílné chování kompresních algoritmů na základě povahy vstupních hodnot. Dále jsou v těchto tabulkách výsledky pro malá a velká vstupní data. Malá vstupní data obsahují 144 hodnot, které byly naměřeny za jeden den. Velká data obsahují naměřené hodnoty za měsíc. Počet těchto hodnot je 4320.

7.1 Kvantum přenesené informace

Na základě obrázku 7.1 pro teplotní měření a větší velikost dat dochází k většímu ušetření hodnot u metody DCT. U větší velikosti dat vychází lépe metoda DWT. Pro velká data, u velikosti rychlosti větru a globálního záření, nedochází u metody DCT k ušetření dat.

Na obrázku 7.2 lze vidět vliv délky dne a noci na množství hodnot po kompresi. Beztrátové komprese jsou vhodné pro průběhy, které se v čase moc nemění. V noci je globální záření konstantní, a proto čím delší je noc, tím méně hodnot zůstane po použití beztrátového algoritmu.

Na základě obrázku 7.3 lze usoudit, že při použití komprese na průběh úhrnu srážek jsou si obě metody podobné. Při komprimování menšího množství hodnot je vhodnější použít metodu RLE.

7.2 Ztráta informace

Na základě obrázku 7.4 pro teplotní měření má metoda DWT menší ztrátu informace než DCT. Pro tlak a rychlost větru vychází lépe metoda DCT.

Tabulka 7.1: Komprimace dat rychlosti větru za den

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	144	84	41.6667
DCT 0.999	144	123	14.5833
DCT 0.9995	144	138	4.1667
ZLIB	144	297	-106.2500
DWT Symlet	144	75	47.9167
DWT Haar	144	72	50
DWT Meyer	144	122	15.2778
DWT Biorthogonal	144	77	46.5278
RLE	144	264	-83.3333

Tabulka 7.2: Komprimace dat rychlosti větru za měsíc

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	4320	3135	27.4306
DCT 0.999	4320	4318	0.0463
DCT 0.9995	4320	4320	0
ZLIB	4320	5856	-35.5556
DWT Symlet	4320	2163	49.9306
DWT Haar	4320	2160	50
DWT Meyer	4320	2210	48.8426
DWT Biorthogonal	4320	2165	49.8843
RLE	4320	7808	-80.7407

Tabulka 7.3: Komprimace dat tlaku vzduchu za den

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	144	-	-
DCT 0.999	144	-	-
DCT 0.9995	144	-	-
ZLIB	144	321	-122.9167
DWT Symlet	144	75	47.9167
DWT Haar	144	72	50
DWT Meyer	144	122	15.2778
DWT Biorthogonal	144	77	46.5278
RLE	144	214	-48.6111

Tabulka 7.4: Komprimace dat tlaku vzduchu za měsíc

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	4176	-	-
DCT 0.999	4176	-	-
DCT 0.9995	4176	-	-
ZLIB	4176	4669	-11.8056
DWT Symlet	4176	2091	49.9282
DWT Haar	4176	2088	50
DWT Meyer	4176	2138	48.8027
DWT Biorthogonal	4176	2093	49.8803
RLE	4176	4968	-18.9655

Tabulka 7.5: Komprimace dat globálního záření za den

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	144	98	31.9444
DCT 0.999	144	116	19.4444
DCT 0.9995	144	139	3.4722
ZLIB	144	296	74
DWT Symlet	144	75	47.9167
DWT Haar	144	72	50
DWT Meyer	144	122	15.2778
DWT Biorthogonal	144	77	46.5278
RLE	144	200	-38.8889

Tabulka 7.6: Komprimace dat globálního záření za měsíc

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	4320	4270	1.1574
DCT 0.999	4320	4312	0.1852
DCT 0.9995	4320	4312	0.1852
ZLIB	4320	6194	82
DWT Symlet	4320	2163	49.9306
DWT Haar	4320	2160	50
DWT Meyer	4320	2210	48.8426
DWT Biorthogonal	4320	2165	49.8843
RLE	4320	5978	-38.3796

Tabulka 7.7: Komprimace dat úhrnu srážek za den

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	144	143	0.6944
DCT 0.999	144	144	0
DCT 0.9995	144	144	0
ZLIB	144	48	95
DWT Symlet	144	75	47.9167
DWT Haar	144	72	50
DWT Meyer	144	122	15.2778
DWT Biorthogonal	144	77	46.5278
RLE	144	14	90.2778

Tabulka 7.8: Komprimace dat úhrnu srážek za měsíc

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	4320	4318	0.0463
DCT 0.999	4320	4318	0.0463
DCT 0.9995	4320	4318	0.0463
ZLIB	4320	408	98
DWT Symlet	4320	2163	49.9306
DWT Haar	4320	2160	50
DWT Meyer	4320	2210	48.8426
DWT Biorthogonal	4320	2165	49.8843
RLE	4320	316	92.6852

Tabulka 7.9: Komprimace dat teploty za den

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	144	3	97.9167
DCT 0.999	144	6	95.8333
DCT 0.9995	144	6	95.8333
ZLIB	144	284	-97.2222
DWT Symlet	144	75	47.9167
DWT Haar	144	72	50
DWT Meyer	144	122	15.2778
DWT Biorthogonal	144	77	46.5278
RLE	144	224	-55.5556

Tabulka 7.10: Komprimace dat teploty za měsíc

Metoda komprese	Původních velikost	Velikost po kompresi	Ušetřená data (%)
DCT 0.995	4320	75	98.2639
DCT 0.999	4320	184	95.7407
DCT 0.9995	4320	333	92.2917
ZLIB	4320	6173	-42.8935
DWT Symlet	4320	2163	49.9306
DWT Haar	4320	2160	50
DWT Meyer	4320	2210	48.8426
DWT Biorthogonal	4320	2165	49.8843
RLE	4320	7414	-71.6204

Tabulka 7.11: Ztráta informace dat rychlosti větru

Metoda komprese	Směrodatná odchylka (Den)	Směrodatná odchylka (Měsíc)
DCT 0.995	0.4885	0.3812
DCT 0.999	0.2170	0.1706
DCT 0.9995	0.1529	0.1207
ZLIB	0	0
DWT Symlet	0.3061	0.2794
DWT Haar	0.3536	0.3150
DWT Meyer	0.3259	0.2694
DWT Biorthogonal	0.3714	0.2737
RLE	0	0

Tabulka 7.12: Ztráta informace dat tlaku vzduchu

Metoda komprese	Směrodatná odchylka (Den)	Směrodatná odchylka (Měsíc)
DCT 0.995	-	-
DCT 0.999	-	-
DCT 0.9995	-	-
ZLIB	0	0
DWT Symlet	0.0430	0.0451
DWT Haar	0.0796	0.0636
DWT Meyer	0.0322	0.0431
DWT Biorthogonal	0.0324	0.0414
RLE	0	0

Tabulka 7.13: Ztráta informace dat globálního záření

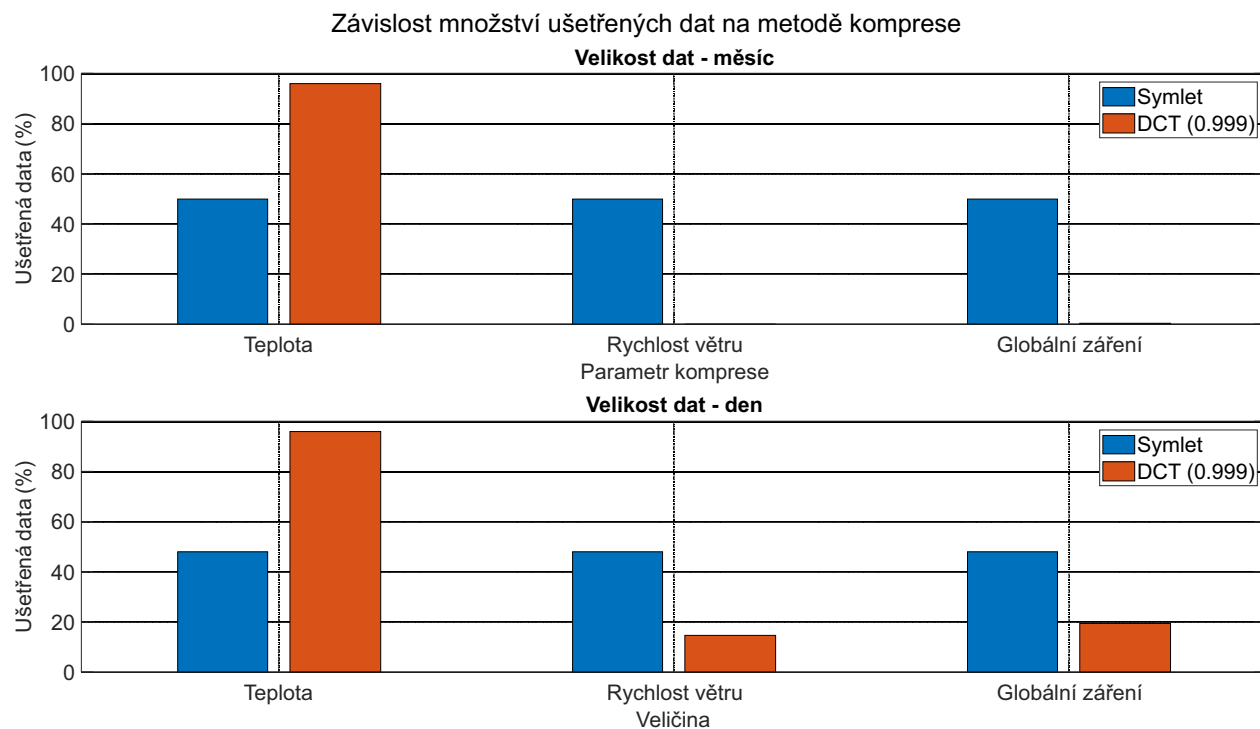
Metoda komprese	Směrodatná odchylka (Den)	Směrodatná odchylka (Měsíc)
DCT 0.995	39.8421	42.0654
DCT 0.999	17.8858	18.8202
DCT 0.9995	12.6689	13.3173
ZLIB	0	0
DWT Symlet	37.0335	33.4457
DWT Haar	45.9056	38.2149
DWT Meyer	39.0838	33.4310
DWT Biorthogonal	39.5187	35.0774
RLE	0	0

Tabulka 7.14: Ztráta informace dat úhrnu srážek

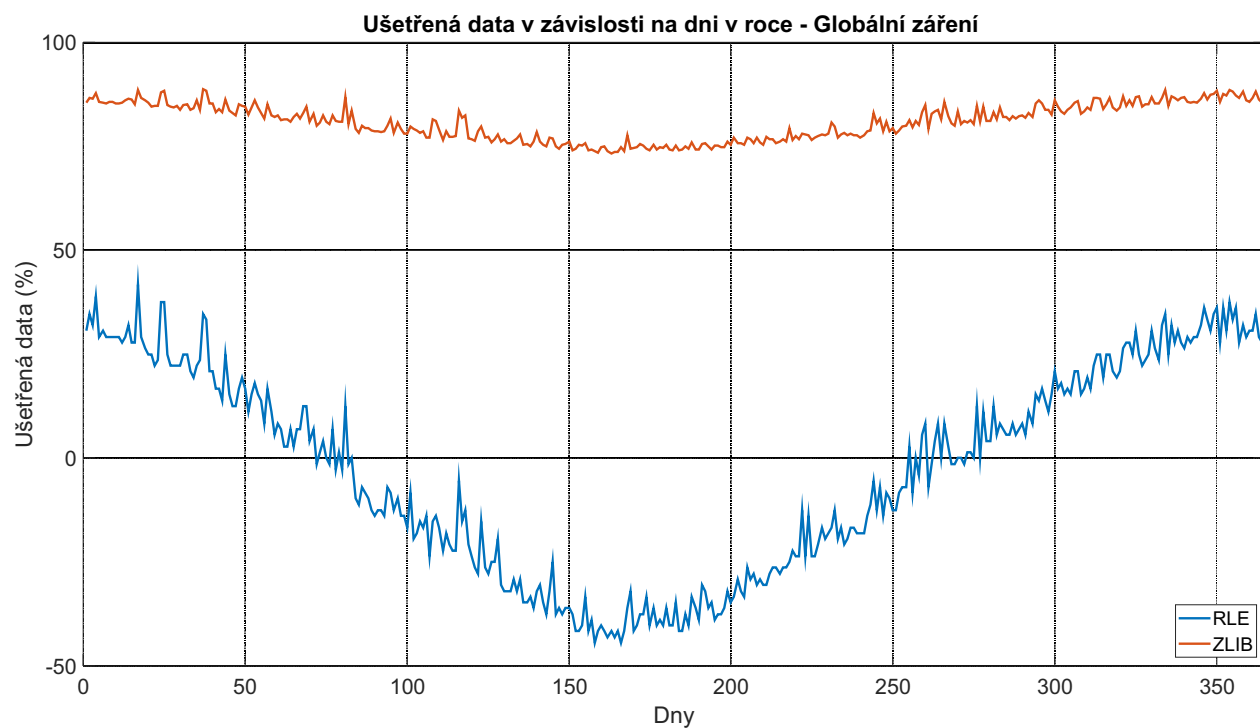
Metoda komprese	Směrodatná odchylka (Den)	Směrodatná odchylka (Měsíc)
DCT 0.995	0.0061	0.0379
DCT 0.999	0.0027	0.0170
DCT 0.9995	0.0019	0.0120
ZLIB	0	0
DWT Symlet	0.0217	0.2893
DWT Haar	0.0221	0.2605
DWT Meyer	0.0184	0.2662
DWT Biorthogonal	0.0153	0.2233
RLE	0	0

Tabulka 7.15: Ztráta informace dat teploty

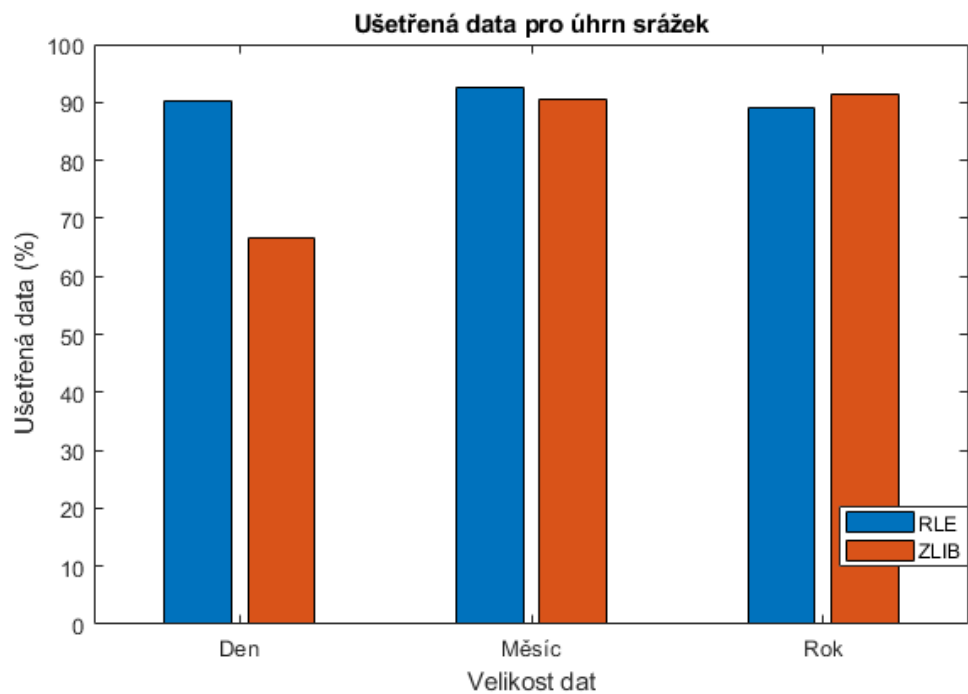
Metoda komprese	Směrodatná odchylka (Den)	Směrodatná odchylka (Měsíc)
DCT 0.995	1.6393	1.9476
DCT 0.999	0.6406	0.8797
DCT 0.9995	0.6406	0.6267
ZLIB	0	0
DWT Symlet	0.1001	0.1189
DWT Haar	0.1804	0.1903
DWT Meyer	0.0948	0.1142
DWT Biorthogonal	0.0912	0.1249
RLE	0	0



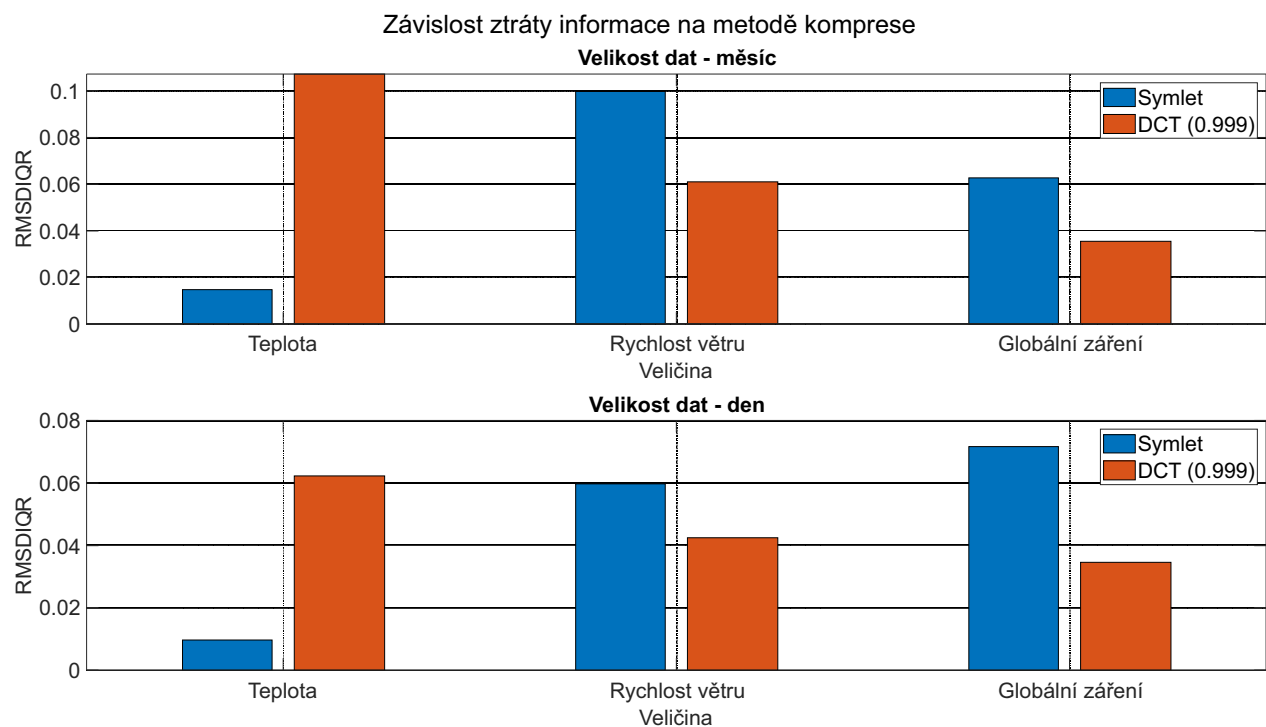
Obrázek 7.1: Množství ušetřených hodnot globálního záření v závislosti na dni v roce



Obrázek 7.2: Množství ušetřených hodnot globálního záření v závislosti na dni v roce



Obrázek 7.3: Množství ušetřených hodnot úhrnů srážek podle metody komprese



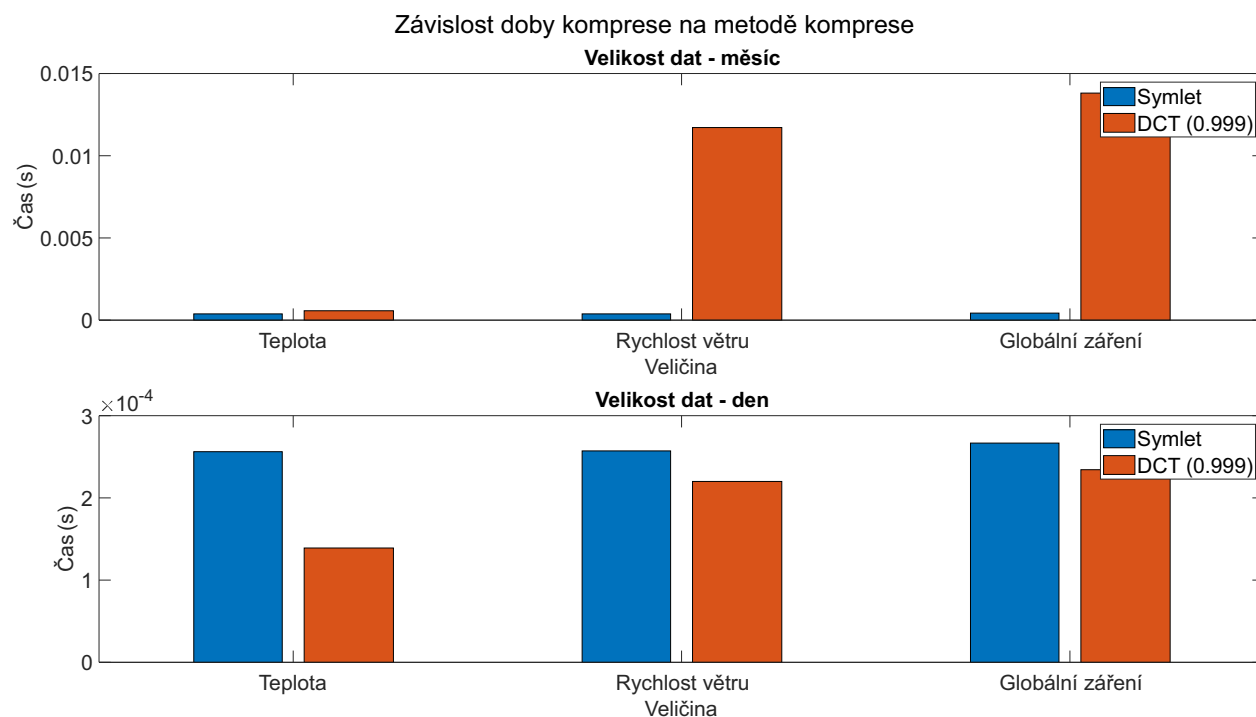
Obrázek 7.4: Množství ušetřených hodnot globálního záření v závislosti na dni v roce

Tabulka 7.16: Doba kompilace hodnot rychlosti větru

Metoda komprese	Doba komprese (Den)	Doba komprese (Měsíc)
DCT 0.995	1.6459e-04 s	0.0034 s
DCT 0.999	1.9400e-04 s	0.0125 s
DCT 0.9995	2.1685e-04 s	0.0173 s
ZLIB	3.2274e-04 s	0.0016 s
DWT Symlet	2.5039e-04 s	4.5339e-04 s
DWT Haar	1.9973e-04 s	3.4134e-04 s
DWT Meyer	0.0012 s	0.0017 s
DWT Biorthogonal	2.9659e-04 s	5.1999e-04 s
RLE	6.6895e-05 s	1.9109e-04 s

7.3 Výpočetní náročnost

Na základě obrázku 7.5 je pro malá data metoda DWT rychlejší. U velkých dat je rychlejší metoda DCT pro teplotní měření. U ostatních měření nemá smysl řešit rychlost výpočtu, protože i když dle grafu je metoda DCT rychlejší, tak nedochází k ušetření žádných dat.



Obrázek 7.5: Množství ušetřených hodnot globálního záření v závislosti na dni v roce

Na základě obrázku 7.6 lze usoudit, že při použití komprese na průběh úhrnu srážek, pokud je třeba rychlejší výpočet, je vhodnější použít metodu RLE. Při větším objemu dat je rozdíl časů výpočtu méně znatelný. Při srovnání množství ušetřených dat vychází lépe metoda zlib.

Tabulka 7.17: Doba kompilace hodnot tlaku vzduchu

Metoda komprese	Doba komprese (Den)	Doba komprese (Měsíc)
DCT 0.995	-	-
DCT 0.999	-	-
DCT 0.9995	-	-
ZLIB	2.9759e-04 s	0.0018 s
DWT Symlet	2.5194e-04 s	4.4739e-04 s
DWT Haar	2.3116e-04 s	4.0514e-04 s
DWT Meyer	0.0021 s	0.0015 s
DWT Biorthogonal	3.4554e-04 s	5.1004e-04 s
RLE	6.2734e-05 s	1.7414e-04 s

Tabulka 7.18: Doba kompilace hodnot globální záření

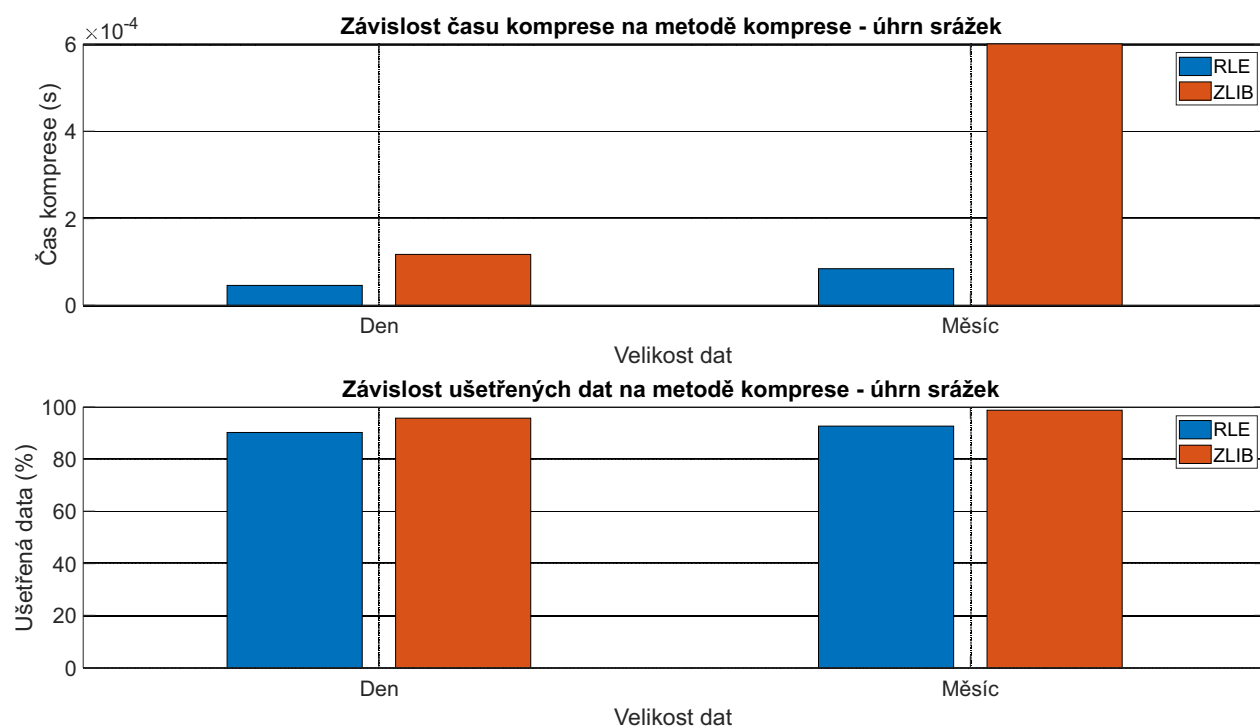
Metoda komprese	Doba komprese (Den)	Doba komprese (Měsíc)
DCT 0.995	1.8316e-04 s	0.0039 s
DCT 0.999	2.1071e-04 s	0.0142 s
DCT 0.9995	2.4771e-04 s	0.0200 s
ZLIB	1.9994e-04 s	0.0013 s
DWT Symlet	4.3625e-04 s	4.0979e-04 s
DWT Haar	2.1923e-04 s	3.4379e-04 s
DWT Meyer	0.0016 s	0.0017 s
DWT Biorthogonal	3.2979e-04 s	5.3639e-04 s
RLE	9.3401e-05 s	1.5124e-04 s

Tabulka 7.19: Doba kompilace hodnot úhrnu srážek

Metoda komprese	Doba komprese (Den)	Doba komprese (Měsíc)
DCT 0.995	2.6591e-04 s	0.0385 s
DCT 0.999	2.9402e-04 s	0.0499 s
DCT 0.9995	2.9445e-04 s	0.0545 s
ZLIB	1.7384e-04 s	3.5579e-04 s
DWT Symlet	4.3106e-04 s	3.7869e-04 s
DWT Haar	1.9496e-04 s	3.4219e-04 s
DWT Meyer	0.0011 s	0.0018 s
DWT Biorthogonal	2.9829e-04 s	4.9114e-04 s
RLE	5.8139e-05 s	1.0764e-04 s

Tabulka 7.20: Doba kompilace hodnot teploty

Metoda komprese	Doba komprese (Den)	Doba komprese (Měsíc)
DCT 0.995	1.2264e-04 s	4.8814e-04 s
DCT 0.999	1.2861e-04 s	6.2989e-04 s
DCT 0.9995	1.2639e-04 s	7.4414e-04 s
ZLIB	1.4603e-04 s	0.0023 s
DWT Symlet	2.4609e-04 s	4.2179e-04 s
DWT Haar	2.1661e-04 s	3.7734e-04 s
DWT Meyer	0.0017 s	0.0018 s
DWT Biorthogonal	3.2934e-04 s	4.9114e-04 s
RLE	5.9239e-05 s	4.5829e-04 s



Obrázek 7.6: Srovnání času potřebného pro kompresi hodnot úhrnů srážek a množství ušetřených dat

Kapitola 8

Závěr

Při použití kompresních algoritmů je potřeba brát v potaz, jaká data se budou komprimovat. Nelze použít univerzální metodu při zachování stejné kvality komprese.

V teoretické části jsou uvedeny příklady reálných IoT zařízení pro měření enviromentálních dat a způsob přenosu těchto dat pomocí komunikačních standardů LPWAN. Dále je popsán rozdíl mezi ztrátovou a bezztrátovou kompresí a také se zde popisují příklady obou variant kompresí.

V praktická část obsahuje popis a výsledky experimentů s kompresními metodami. Komprese jsou zhodnoceny na základě výpočetní náročnosti, množství ušetřených dat a ztráty informace. Množství ušetřených dat je důležitý parametr, protože standarty LPWAN umožňují přenášet pouze omezené množství dat. Výpočetní náročnost je důležitý parametr pro IoT zařízení, kde může být omezený výpočetní výkon.

Na základě provedených experimentů lze usoudit, že bezztrátové komprese jsou použitelné hlavně u neměnných průběhu, jako jsou například úhrn srážek a globální záření.

Ztrátové komprese se naopak na tyto průběhy nehodí a jsou použitelné hlavně pro průběhy teploty a rychlosti větru.

Z výsledku experimentů lze dále říct, že při volbě metody komprese je důležité brát v potaz, jak se průběh měřené veličiny mění dlouhodobě. Při použití metody RLE pro kompresi hodnot globálního záření může ušetřit množství hodnot pro data naměřená v teplejších měsících, ale v chladnějších měsících dochází místo ušetření množství hodnot, k nárůstu.

Z experimentů lze usoudit, že metoda ZLIB dosahuje lepších výsledků než metoda RLE. Pro úhrn srážek, i pro globální záření.

Literatura

1. BANAFI, Ahmed. *IoT and Blockchain Convergence: Benefits and Challenges - IEEE Internet of Things* [<https://iot.ieee.org/newsletter/january-2017/iot-and-blockchain-convergence-benefits-and-challenges.html>]. 2017-01. (Accessed on 12/09/2020).
2. KOĐOUSKOVÁ, Barbora. *Internet věcí (IoT): definice, příklady využití, produkty* [<https://www.rascasone.com/cs/blog/iot-internet-veci-definice-produkty-historie>]. 2020-11. (Accessed on 12/07/2020).
3. VOJÁČEK, Antonín. *Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT) | Automatizace.HW.cz* [<https://automatizace.hw.cz/zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>]. 2016-09. (Accessed on 12/07/2020).
4. SYSTEM, COMET. *IoT bezdrátový teploměr, vlhkoměr, barometr, Sigfox | COMET SYSTEM, s.r.o.* [<https://www.cometsystem.cz/produkty/bezdratovy-teplomer-vlhkometer-barometr-sit-sigfox-iot/reg-w7810>]. 2020. (Accessed on 12/19/2020).
5. SECTRON. *SECTRON meteorologická stanice | E-shop SECTRON* [<https://eshop.sectron.cz/cs/sectron-meteorologicka-stanice-s-wifi-lan-prevodnikem/p-15155/>]. 2020. (Accessed on 12/19/2020).
6. HÜBNER, Pavel. *LPWAN - přehled IoT sítí | HARDWARIO IoT Blog* [<https://www.hardwario.com/cs/blog/2020-06-09-lpwan/>]. 2020-06. (Accessed on 12/09/2020).
7. PASQUA, Eugenio. *LPWAN technologies: How cellular MNOs are placing their bets* [<https://iot-analytics.com/lpwan-technologies-cellular-mnos/>]. 2018-10. (Accessed on 12/09/2020).
8. IOTPORT. *LoRaWAN, Sigfox nebo NB-IoT? Srovnání 3 velkých IoT sítí | IoTPort* [<https://www.iotport.cz/iot-novinky/lorawan/lorawan-sigfox-nebo-nb-iot-srovnani-3-vyznamnych-typu-iot-siti>]. 2020-03. (Accessed on 12/09/2020).
9. FOLTÝN, Petr. *LPWAN z praktického pohledu vývojáře | Vývoj.HW.cz* [<https://vyvoj.hw.cz/internet-veci/lpwan-z-praktickeho-pohledu.html>]. 2016-05. (Accessed on 12/09/2020).

10. HORDĚJČUK, Vojtěch. *Kompresní algoritmus - Vojtěch Hordějčuk* [<http://voho.eu/wiki/kompresni-algoritmus/>]. (Accessed on 12/09/2020).
11. TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Programujeme JPEG: diskrétní kosinová transformace (DCT) - Root.cz* [<https://www.root.cz/clanky/programujeme-jpeg-diskretni-kosinova-transformace-dct/>]. 2007-01. (Accessed on 12/20/2020).
12. MALÝ, Ing. Jan. *Srovnání metod pro ztrátovou kompresi obrazu* [<http://www.elektrorevue.cz/clanky/06042/index.html>]. 2006-10. (Accessed on 04/30/2021).
13. MATHWORKS. *Discrete cosine transform - MATLAB dct* [<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/dct.html>]. (Accessed on 12/20/2020).
14. TIŠNOVSKÝ, Pavel. *PCX prakticky - implementace komprimace RLE - Root.cz* [<https://www.root.cz/clanky/pcx-prakticky-implementace-komprimace-rle/>]. 2006-11. (Accessed on 04/30/2021).
15. JELÍNEK, Lukáš. *Komprese LZO na Btrfs rychlejší než Zlib - Linux E X P R E S* [<https://www.linuxexpres.cz/novinky/komprese-lzo-na-btrfs-rychlejsi-nez-zlib>]. 2011-03. (Accessed on 04/30/2021).
16. HUMUSOFT. *MATLAB | Humusoft* [<https://www.humusoft.cz/matlab/details/>]. (Accessed on 04/30/2021).

Příloha A

Příloha v IS EDISON

MATLAB skripty a funkce.